

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
Dipartimento di Architettura

Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura e Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura- XXVI ciclo

**SISTEMI COSTRUTTIVI INDUSTRIALIZZATI PER L'HABITAT ECO-EFFICIENTE:
UN ALLOGGIO IN COLD FORMED STEEL PER LA REGIONE DI DAKAR
(SENEGAL)**

Dottorando: arch. Antonio D'Acunzi

Tutor: prof. arch. Sergio Russo Ermolli

Il Coordinatore prof. Mario Losasso

**SISTEMI COSTRUTTIVI INDUSTRIALIZZATI PER L'HABITAT ECO-EFFICIENTE:
UN ALLOGGIO IN COLD FORMED STEEL PER LA REGIONE DI DAKAR
(SENEGAL)**

SISTEMI COSTRUTTIVI INDUSTRIALIZZATI PER L'HABITAT ECO-EFFICIENTE: UN ALLOGGIO IN COLD FORMED STEEL PER LA REGIONE DI DAKAR

INTRODUZIONE	4
ABSTRACT	7
<u>CAPITOLO I</u>	
1. LE DINAMICHE DELLA DOMANDA E DELL'OFFERTA ABITATIVA NELLA REGIONE DI DAKAR: ATTUALITA' E PROSPETTIVE DI SVILUPPO	
1.1. Crescita urbana post-coloniale	9
1.2. Il fenomeno delle abitazioni spontanee	13
1.3. Trend della domanda e dell'offerta nel settore dell'edilizia residenziale	16
1.3.1. Nuclei familiari ed esigenze abitative	16
1.3.2. L'offerta dei promotori pubblici e privati	20
1.3.3. Produzione di alloggi in "auto-promozione"	21
1.4. Caratteristiche Tecnologiche e Ambientali dell'edilizia abitativa a Dakar: criticità e potenzialità	23
1.4.1. Tipologie costruttive, materiali impiegati, e consumi energetici	23
1.4.2. Produzione edilizia per l'Housing a Dakar: manodopera e servizi tecnici	31
1.4.3. Prezzi di vendita e costo di costruzione degli alloggi	33
1.5. Azioni di politica tecnica per lo sviluppo abitativo della Regione	33
1.5.1. Programmi per la Governance del territorio Regionale	35
1.5.2. Strumenti per la modernizzazione del Settore delle costruzioni	37
1.5.3. Promozione della qualità energetica del costruito	39
- CAPITOLO II	
2. SISTEMI COSTRUTTIVI E HOUSING ECO-EFFICIENTE: LA TECNOLOGIA DEI COLD FORMED STEEL	
2.1 Strategie e orientamenti per una Crescita Eco-Efficiente dell'industria delle costruzioni	41
2.2 Tecnologie industrializzate e fattori di risparmio	41
2.3 I sistemi in CFS per l'Housing	44
2.4 Organizzazione e sviluppi nel settore produttivo dei CFS	46
2.4.1. Eco-efficienza della catena produttiva e approccio <i>life-cycle</i> dei prodotti in <i>cold formed</i>	67
2.4.2. Progettazione integrata e costruzione "semplificata"	76
2.5. Dettaglio costruttivo e scalabilità delle <i>performance</i>	79
2.6. Livelli prestazionali e controllo dei costi di realizzazione e gestione	81
- CAPITOLO III	
3. CASO APPLICATIVO: UN ALLOGGIO IN CFS PER LA REGIONE DI DAKAR	
3.1. I CFS come alternativa eco-tecnologica per l'housing a Dakar	83
3.2. Il progetto di un'abitazione in <i>cold formed</i>	84
3.2.1. Metodologia e fasi di sviluppo del modello di studio	84
3.2.2. Problematiche progettuali e definizione dei requisiti	86

3.2.3	Elaborazione del “Prototipo virtuale”	88
3.3	Descrizione del sistema costruttivo in CFS	
3.3.1	Definizioni ed elementi costitutivi	90
3.3.2	Caratteristiche costruttive	92
3.4	Valutazione delle opzioni tecnologiche: CFS vs C.A.	
3.4.1	Criteri di base per la scelta dei parametri di confronto	100
3.4.2	Indicatori di eco-efficienza e metodologia LCA: il contributo dei sistemi in <i>cold formed steel</i>	101
3.5	Analisi LCA	
3.5.1	Definizione dei confini del sistema	105
3.5.2	Dati di origine per il confronto	107
3.5.3	Analisi degli impatti durante il ciclo di vita	109
3.5.4	Risultati del confronto	114
3.5.5	Analisi dei risultati	116
3.6	Miglioramento dell’efficienza energetica in condizioni d’uso: una soluzione di involucro eco-efficiente	117
-	CAPITOLO IV	
4.	CONCLUSIONI	
4.1.	Conclusioni e indirizzi per la ricerca	121
	APPENDICE A. Predimensionamento delle strutture	122
	APPENDICE B Foglio di calcolo impatti fase di produzione	123
	APPENDICE C Foglio di calcolo fase di trasporto	125
	APPENDICE D Foglio di calcolo fase di costruzione	126
	APPENDICE E Foglio di calcolo fase di dismissione	127
	APPENDICE F Foglio di calcolo impatti evitati	129
	APPENDICE G Soluzione di involucro. Dettagli costruttivi	130
	APPENDICE H Inventario LCI Worldsteel ed. 2010	131
	BIBLIOGRAFIA	133
	SITOGRAFIA	136
	INDICE DEGLI ACRONIMI	136

INTRODUZIONE

Più del 50% della popolazione mondiale vive nelle città e, stando alle proiezioni del trend attuale, si prevede che nel 2050¹ tale valore sarà prossimo al 70%. La crescita della popolazione urbana è un fenomeno che riguarda principalmente i Paesi in via di sviluppo e tra questi l'Africa mostra uno scenario preoccupante. La maggior parte delle città nell'area Sub-Sahariana, infatti, non è da anni in grado di far fronte alle richieste dei servizi di base dei propri residenti e la maggior parte dell'aumento di popolazione urbana avviene all'interno di insediamenti informali o *slum*, in condizioni abitative fortemente disagiate². La città capitale del Senegal, Dakar, non fa eccezione rispetto a questo modello di sviluppo. La sua regione, chiamata anche Carrefour International, è una zona densamente popolata ed è caratterizzata da una elevata crescita economica e da una forte componente industriale rispetto ai territori limitrofi, risultando di forte attrattiva per le popolazioni delle regioni vicine, a tal punto da ospitare oltre il 50% della popolazione urbana del Paese.

Un tale squilibrio nella distribuzione della popolazione sul territorio configura un contesto socio-economico di difficile gestione, minando l'efficacia degli strumenti di pianificazione territoriale che a scala regionale non risultano adeguati a tenere il passo con l'elevato tasso di crescita (attualmente il 2,9% annuo)³, verificatosi a partire dall'indipendenza coloniale, momento dal quale si è assistito ad una forte migrazione dalle aree rurali. L'aspetto basilare dell'economia popolare a Dakar è il fatto che essa si fondi su alcuni antichi mestieri, tramandati "per casta" da generazioni, senza che risulti necessaria l'acquisizione di competenze professionali aggiuntive da parte della popolazione proveniente dalle campagne. Sebbene un tale tipo di sviluppo sembrerebbe in grado di favorire un incremento dell'occupazione nell'area urbana, attraverso la creazione di piccole imprese artigianali locali, allo stato di

¹ Fonte: UN-Habitat: *State of the world's cities 2010/2011*

² Nel 2010 la popolazione residente negli *slum* dell'area sub-sahariana ammontava a 330 milioni di abitanti, ovvero il 72% della popolazione urbana (UN-HABITAT 2010), con un tasso di crescita che ne prevede il raddoppio ogni 15 anni (Davis 2006).

³ Fonte: ANSD, 2012

fatto una significativa percentuale della forza lavoro risulta senza occupazione e non in grado di evolversi per adeguarsi alle richieste di mercato.

Il settore delle costruzioni è tra i più colpiti da questa sorta di “inadeguatezza” alla modernità e di fallimento dei processi di modernizzazione. Il comparto residenziale è quello che rileva il maggior grado di sottosviluppo manifestandosi in una cronica incapacità di far fronte al soddisfacimento dei bisogni fondamentali del vivere, sia dal punto di vista quantitativo, non riuscendo a far fronte alla domanda, sia da quello qualitativo, per quanto attiene alla natura dell'offerta.

Questa tesi assume come punto di partenza il dato, ormai largamente condiviso, che in scenari come quello delineato per la Regione di Dakar (cfr. Cap. I), la risoluzione delle problematiche relative all'abitare abbia, nell'ordinario, carattere di urgenza e non possa seguire i tradizionali percorsi dell'innovazione. Vanno indagate tecnologie e soluzioni tecnologiche per l'housing in grado di produrre a breve un avanzamento sensibile dello standard qualitativo e che contemporaneamente siano in grado di essere acquisiti ed accettati nel mercato locale e dal contesto socio-economico esistente attraverso un processo di trasferimento tecnologico che non perda mai di vista le ripercussioni sul piano del delicato equilibrio attività antropica-ambiente.

L'analisi di un particolare sistema costruttivo, quello delle costruzioni in *Cold Formed Steel*, presentata nel capitolo II del presente studio, approfondisce gli aspetti tecnologici legati al loro impiego nel settore residenziale, inquadrandone le potenzialità e i punti ancora critici, le prospettive di sviluppo e le possibilità di applicazione limitatamente alle nuove costruzioni, con riguardo particolare al soddisfacimento dei requisiti connotanti emersi dall'analisi della domanda del contesto preso in esame.

Nell'ambito tematico della tecnologia dei sistemi strutturali leggeri in CFS, la tesi si sofferma altresì sul tema della produzione industriale legata agli elementi in acciaio. Le caratteristiche intrinseche di riciclabilità del materiale acciaio e i continui e recenti avanzamenti del settore produttivo dei profili formati a freddo, per quanto rilevabile dalle ricerche condotte, consentono la realizzazione di

edifici “efficienti”, ovvero dotati di elevate performance a fronte di un contenuto dispendio di risorse materiali.

L’assemblaggio a secco tra le singole membrature consente tempi di esecuzione ridotti ed un semplice smaltimento del prodotto-edificio a fine ciclo di vita. La programmazione e progettazione dell’organismo edilizio, nonché le tecniche di posa in opera delle membrature e delle parti di completamento, come meglio descritto nella parte centrale del lavoro di tesi, conducono ad una semplificazione della fase di cantiere con una considerevole diminuzione dei tempi di realizzazione e dei costi di costruzione. Nonostante i forti contenuti di sostenibilità ambientale, economica ed ecologica dalla loro introduzione a oggi, tali costruzioni risultano ancora poco diffuse in aree laddove il valore aggiunto della ricerca in ambito tecnologico potrebbe portare a ripercussioni dirette e tangibile sulla qualità del vivere e dell’abitare.

Nel capitolo III viene presentato il progetto di un’abitazione campione per la Regione di Dakar, sul quale viene effettuata un’analisi tecnologica dei requisiti connotanti per la valutazione dell’efficacia e dell’applicabilità della tecnologia dei CFS nell’ambito di riferimento.

ABSTRACT

I CFS sono stati impiegati come sistemi costruttivi integrali prevalentemente nei cosiddetti *Paesi Industrializzati* e nello specifico in contesti dove l'uso della prefabbricazione ha oramai raggiunto un elevato grado di accettazione, anche nel settore residenziale.

Da pochi anni sono in atto tentativi di trasferimento della tecnologia dei CFS anche in scenari caratterizzati dall'assenza totale di cultura della prefabbricazione, ad opera di promotori internazionali che si stanno aprendo il mercato prevalentemente puntando sulla competitività economica e sulla velocità di realizzazione di tali sistemi rispetto a soluzioni di tipo tradizionali. Generalmente tali tipi di interventi accolgono il favore delle amministrazioni e dei governi che si rivolgono a partner internazionali in grado di garantire, attraverso l'impiego di sistemi costruttivi industrializzati, il soddisfacimento delle richieste abitative di tipo emergenziale secondo gli standard richiesti. Secondo tali modalità di ingresso nel mercato, tuttavia, più che di *trasferimento tecnologico* ci si trova spesso in presenza di una vera e propria "esportazione" di prodotti e tecnologia dai Paesi di origine, in quanto la quasi totalità del processo a partire dalle fasi di programmazione dell'intervento a quella di gestione dell'immobile avviene autonomamente ad opera del partner con risorse materiali e umane provenienti dal proprio Paese di origine.

Tali tipi di intervento, su scala urbana o afferenti a investimenti di grossi gruppi immobiliari per la vendita chiavi in mano, non hanno finora prodotto una diffusione e promozione della tecnologia dei CFS come alternativa ai metodi costruttivi di tipo tradizionale nel panorama del mercato locale.

Nel presente capitolo verranno messe in luce le caratteristiche della tecnologia CFS, con descrizione del sistema costruttivo, delle fasi produttive e realizzative di un alloggio bifamiliare per la regione di Dakar. Tali caratteristiche saranno messe a confronto con quelle del principale *competitor* nel mercato della Regione di Dakar, attraverso l'elaborazione di un prototipo virtuale di abitazione realizzata con entrambe le tecnologie concorrenti, dai quali estrapolare dati sperimentali utili a comprendere e confrontare alcuni livelli prestazionali e di eco-efficienza raggiungibili.

Tipologia, caratteristiche e dimensioni del prototipo sono state desunte dall'analisi del mercato abitativo effettuata nel primo capitolo del presente studio, allo scopo di esplicitare le potenzialità di mercato dei sistemi in CFS per la tipologia abitativa maggiormente richiesta, dunque per quella fetta di mercato che attualmente presenta le maggiori criticità.

Richiamando brevemente quanto emerso da tale analisi, ricordiamo che il rapido aumento dell'urbanizzazione, a partire dagli anni '70, ha portato ad un forte aumento della domanda, non corrisposto dai livelli produttivi del settore disponibili rispetto al target dell'utenza, comportando la nascita del fenomeno delle abitazioni spontanee⁴, dovuta sia all'insufficienza produttiva del settore delle costruzioni, sia alla difficoltà economica di accesso alla casa d'abitazione da parte delle famiglie senegalesi. La maggioranza della popolazione residente nell'area metropolitana di Dakar, si è dunque rivolta al settore cosiddetto "informale", provvedendo alla costruzione della propria abitazione senza controllo da parte delle autorità, operando con manodopera scarsamente qualificata se non addirittura in autocostruzione con risultati che raggiungono uno standard qualitativo che non soddisfa i requisiti minimi di sicurezza d'uso, sicurezza strutturale, durabilità, fruibilità e salvaguardia dell'ambiente.

Date le condizioni a contorno, la ricerca si è proposta di verificare la possibilità dell'impiego dei sistemi costruttivi in CFS per l'Housing in tale contesto, cercando di delineare potenzialità e criticità derivanti da una loro possibile diffusione.

Il prototipo virtuale elaborato rappresenta un caso studio semplificato al fine di fornire indicazioni misurabili, sugli impatti prodotti durante il ciclo di vita, e sui vantaggi e svantaggi rispetto allo *status quo*, in relazione ad un possibile impiego nel settore locale, quale opzione tecnologica "alternativa" eco-efficiente al c.a..

⁴ Chiaramente in questa sede si effettua una semplificazione della problematica connessa alle abitazioni di tipo spontaneo mettendo in luce soltanto alcuni dei principali fattori che ne hanno determinato la diffusione limitatamente all'ambito di studio.

CAPITOLO I:

LE DINAMICHE DELLA DOMANDA E DELL'OFFERTA ABITATIVA NELLA REGIONE DI DAKAR: ATTUALITA' E PROSPETTIVE DI SVILUPPO

1.1. CRESCITA URBANA POST-COLONIALE

Il contesto geografico di riferimento è rappresentato da un territorio che si estende su di un'area di 550km², equivalente allo 0,3% della superficie totale del Senegal. A fronte di una divisione amministrativa millesimale rispetto al resto del Paese, la Regione di Dakar ospita da sempre una grossa parte della popolazione senegalese:

- il 14% alla data dell'indipendenza;
- il 17% nel 1971;
- il 18,8% nel 1976;
- il 21,6% nel 1988.

Ad oggi la città offre dimora a circa un quarto della popolazione nazionale e genera l'80% dell'economia del Paese.

Nel 1960 la densità abitativa era di 930 ab/km², 2.707 ab/km² nel 1998 e circa 4.545 ab/km² nel 2012⁵.

Le attività amministrative, commerciali, industriali ed il terziario del Senegal, sono tutte concentrate a Dakar.

Nella regione trovano impiego:

- il 46% dei dipendenti pubblici,
- il 97% dei dipendenti delle compagnie di trasporto e di commercio,
- il 96% degli impiegati di banca.

Inoltre vi risiedono più il 95% delle industrie e delle strutture commerciali.

Grazie a queste attività, la regione contribuisce da sola per il 55% del PIL del paese con una popolazione lavorativa attiva di 591.790 unità⁶.

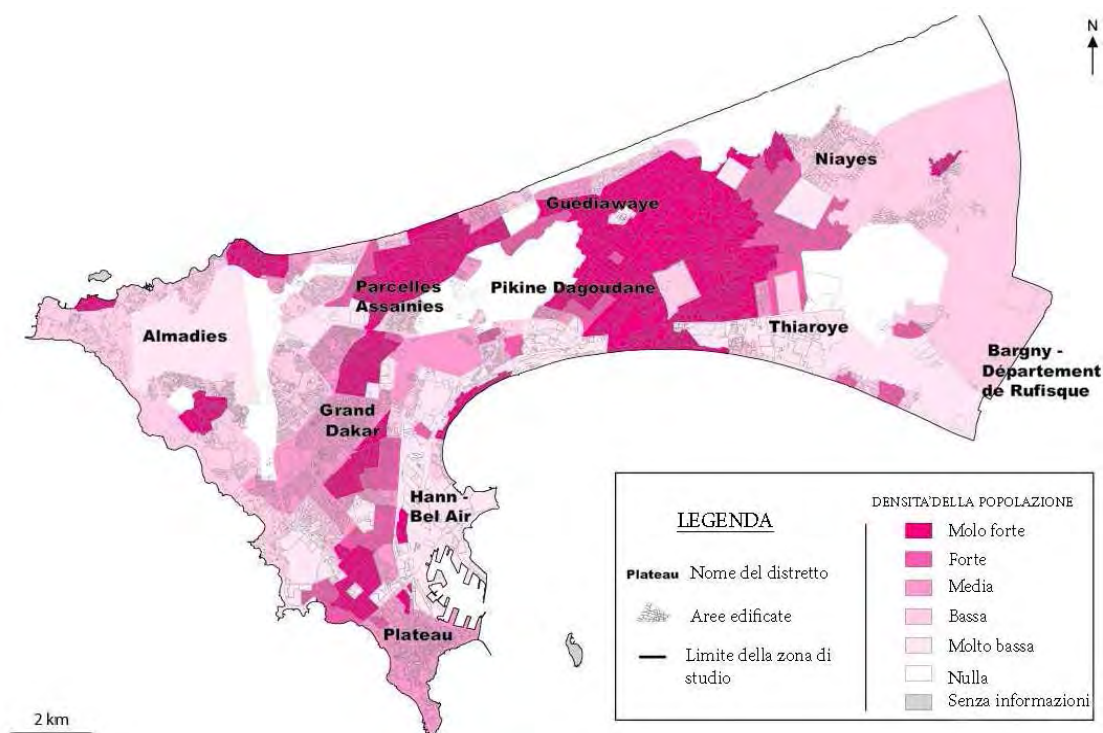
La conformazione della Regione, costretta nei suoi confini geografici, ha comportato non solo l'espansione verso l'interno del paese, ma anche il riempimento delle porzioni vacanti della penisola (in misura maggiore il litorale), alimentando il già presente fenomeno di sovraffollamento metropolitano.

⁵ Fonte ANSD 2012

⁶ Fonte MUAT 2007

Le immagini satellitari mostrano la portata di tali espansioni, e rendono meglio l'idea sia della vulnerabilità connessa ai rischi naturali ai quali tali insediamenti urbani sono sottoposti⁷, sia del gravoso carico ambientale derivante dall'attività antropica.

Ripartizione della popolazione nell'agglomerato urbano di Daka



Fonte: IAGU, Resume Du Rapport Geo Ville Région de Dakar, 2007

Ripartizione della popolazione di Dakar (2002)

Dipartimenti	Popolazione	Percentuale
Dakar	955 897	42,15
Pikine	768 826	33,90
Guédiawaye	258 370	11,39
Rufisque	284 263	12,53
Totale	2 267 356	100

Fonte: Ricensimento generale della popolazione e delle abitazioni. Risultati provvisori Dicembre 2002

⁷ Nel 2009 le inondazioni verificatesi lungo il litorale hanno causato ingenti danni e un numero elevato di vittime.

La storia urbana di Dakar, come quella di molte città coloniali africane, ha radici recenti. Essa nasce a partire dai consueti modelli spaziali di matrice occidentale coniugati al razionalismo moderno esportato nei territori coloniali.

Le diverse condizioni politiche, determinate da una relativa stabilità dei governi, e soprattutto il ruolo che lo stato ha esercitato nell'ambito delle trasformazioni territoriali⁸, hanno caratterizzato un modello di sviluppo che differisce in larga misura dalle altre capitali dell'area sub-sahariana. A livello amministrativo, infatti, la regione di Dakar è caratterizzata da una complessa struttura nella quale si fondono diversi organi di governo del territorio, costituiti da un lato dai rappresentanti delle autorità dello stato (*autorités déconcentrées*)⁹, nominate dal Presidente della Repubblica del Senegal, e dall'altro dal governo locale, eletto dai cittadini ed indipendente a livello amministrativo dallo Stato stesso, creando una sovrapposizione di competenze che di fatto ha portato ad una pianificazione frammentata e a politiche attuative conflittuali.

La mancanza di risorse umane e finanziarie, nonché la sovrapposizione dei diversi livelli amministrativi degli organismi tecnici locali e nazionali, hanno finora causato forti ritardi nell'applicazione dei piani urbanistici. Spesso le previsioni sono state sopraffatte dalle veloci estensioni incontrollate del territorio urbano, con aggravio dei costi e rallentamenti nella realizzazione di importanti infrastrutture¹⁰. Nella sola città di Dakar il 30% delle aree urbane è infatti occupata da edifici abusivi¹¹. Non solo: a causa della cattiva amministrazione a livello di governo locale del territorio, una cospicua parte delle lottizzazioni "regolari" viene effettuata in modo difforme rispetto agli strumenti urbanistici, o addirittura in contrasto con regolamenti e leggi nazionali. Sono frequenti i casi di costruzioni autorizzate su aree di demanio pubblico, in zone non edificabili, o

⁸ A regolare il suolo senegalese è una legge emanata in epoca post-coloniale, che prevede la suddivisione del territorio nazionale secondo due regimi fondiari. Il primo, che riguardava all'epoca l'1% dei terreni, assegnava il diritto di proprietà attraverso un meccanismo d'immatricolazione; il restante 99% del territorio diveniva, a partire dal 1964, demanio nazionale. La legge mirava esplicitamente a garantire l'indipendenza del paese dalle ingerenze degli investitori occidentali e dagli interessi speculativi di alcune famiglie locali e affidava allo stato la responsabilità di gestire lo sviluppo del territorio.

⁹ Con la legge per la decentralizzazione emanata nel 1996 tutte le regioni del Senegal hanno assunto lo status di governo locale, e si sviluppano su due livelli amministrativi costituiti dal governo nazionale con i suoi ministeri, e dal governo territoriale suddiviso in regioni (14), comuni (45) e distretti o *collectivités locales* (133).

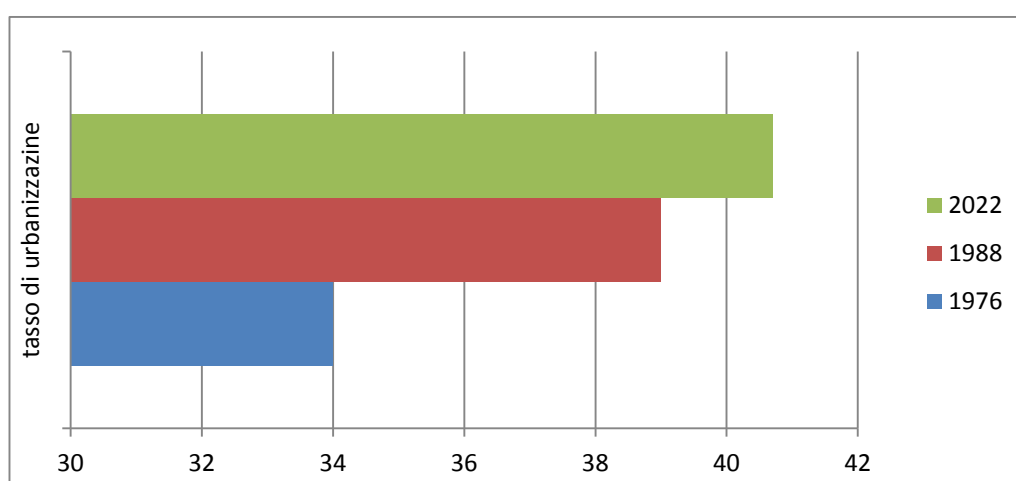
¹⁰ E' il caso dell'autostrada Dakar-Thies VDN (*Voie de Dégagement Nord*)

¹¹ Superiore al tasso nazionale attestantesi intorno al 25%.

addirittura in zone precedentemente alluvionate. Gli investimenti da parte dello Stato a favore della Regione sono stati per anni limitati alla sola città di Dakar, a scapito delle zone periferiche. Questa disparità infrastrutturale ha rafforzato i flussi migratori tra la capitale, la sua periferia e il suo immediato entroterra, caricando ulteriormente le già carenti infrastrutture metropolitane ad un tasso superiore al loro sviluppo.

Il forte incremento demografico costituisce una problematica di vecchia data per il Senegal, a causa dei flussi migratori derivanti dall'esodo rurale delle vicine regioni. La città di Dakar, a partire dall'indipendenza¹², ha raggiunto livelli di crescita della popolazione urbana (5,1% annuo nel periodo tra il 1960 e il 1970) di molto superiori alla media dell'epoca degli altri Stati dell'area sub-sahariana (2,9%), raddoppiando in poco più di un decennio il numero dei propri abitanti. Con un tasso urbanizzazione del 97,2 %¹³, quella di Dakar è la regione più urbanizzata del Senegal.

Evoluzione del tasso di urbanizzazione (%) in Senegal dal 1976 al 2002



Fonte: RGPH 3 – Rapport national de présentation des résultats définitifs /ANSD /Décembre 2006

Agli inizi del '70 le imprese del settore privato e le due principali organizzazioni statali responsabili della realizzazione di programmi di edilizia abitativa (la

¹² Nel 1958 il Senegal ottenne l'autogoverno nell'ambito della Comunità francese e, il 20 giugno 1960, divenne indipendente come parte della Federazione del Mali, che lo univa al Sudan francese (l'odierno Mali); il 20 agosto dello stesso anno, dopo aver abbandonato la federazione, il Senegal si proclamò repubblica autonoma ed elesse il primo Presidente della Repubblica.

¹³ ANSD 2006

exSociété Immobilière du Cap-Vert e la Société Nationale des Habitations a Loyers Modérés) non sono state in grado di tenere il passo con la domanda di abitazioni¹⁴ rendendo necessario, a partire dalla fine del decennio, un significativo cambiamento nelle modalità istituzionali che regolavano il settore della produzione e gestione del patrimonio immobiliare residenziale. Furono presto istituite la Housing Bank del Senegal (1979), con il ruolo fondamentale di assicurare risparmi destinati agli investimenti nel settore abitativo, la HAMO (1981), azienda specializzata nella costruzione di case prefabbricate, e fu all'uopo creata una società, la SCAT-URBAM (1988), con la mission aziendale di promuovere e sviluppare il mercato dei terreni edificabili. Il Ministero per l'edilizia residenziale e la pianificazione istituì in seguito (1989) a Dakar un ufficio locale di assistenza governativa per supportare le attività degli attori coinvolti nel settore della produzione di alloggi, contribuendo a ridurre il gap tra domanda e offerta per la categoria di utenza costituita dai professionisti e dai lavoratori del terziario della capitale.

D'altro canto, la forte presenza sul territorio di comunità povere e di emigranti, molti dei quali operano nel settore economico informale, ha determinato nel corso degli anni una alta domanda di edilizia sociale che né il pubblico, né il privato, né le organizzazioni non-governative sono stati in grado di soddisfare adeguatamente.

1.2. IL FENOMENO DELLE ABITAZIONI SPONTANEE

La combinazione di fattori associati alla rapida urbanizzazione, all'offerta insufficiente, e alle caratteristiche di inaccessibilità per le famiglie a basso reddito, si è tradotta a livello urbanistico nella costituzione di agglomerati spontanei su vasta scala, non conformi alle norme vigenti sia in termini di localizzazione, sia tipologico-costruttive.

Parallelamente si sono registrati preoccupanti risvolti di carattere legale consistenti nella formazione di un mercato clandestino per la sistemazione degli

¹⁴ Nel periodo tra il 1960 e i primi anni '70 si stima che fossero state realizzate appena 25.000 abitazioni, rispetto ad una domanda abitativa di 250.000 alloggi all'anno.

emigranti irregolari nelle baraccopoli e nell'occupazione abusiva dei terreni lungo la costa utilizzati per l'agricoltura su piccola scala.

Nel 2006, la sola Regione di Dakar contava 363.800 abitazioni spontanee censite. Le aree di *Pikine*, *Guédiawaye* e *Parcelles Assainies* sono quelle maggiormente interessate al fenomeno, e sono caratterizzate, oltre che da un altissimo indice di densità abitativa, da problemi legati alla citata mancanza di pianificazione degli spazi residui, alla presenza di abitazioni in zone a rischio, all'insufficienza di attrezzature pubbliche e dall'insussistenza delle condizioni necessarie a riceverne di aggiuntive¹⁵.

Le attuali stime affermano che il numero di residenti che vivono in comunità di *squatter* varia tra il 36% ed il 40% della popolazione totale¹⁶, occupando una quota parte del territorio pari al 21,76% della superficie territoriale regionale, con predominanza nelle aree suburbane.

Viceversa, le abitazioni regolari, come ville e condomini, sono distribuite soprattutto nel dipartimento di Dakar.

Tipologia degli insediamenti presenti nella regione di Dakar suddivisi per Dipartimento

Tipologia	Regione di Dakar	Dipartimenti		
		Dakar	Pikine	Rufisque
	%	%	%	%
Case regolari, edifici, ville	62	89	43	32
Insediamenti spontanei	22	3	42	10
Insediamenti tipo Villaggio*	16	8	15	58
Totale	100	100	100	100
*Insediamenti irregolari attorno alle aree rurali suburbane				
Fonte: PDU della regione di Dakar – Horizon 2025				

¹⁵ Fonte: PDU 2025 p.136

¹⁶ Le stime del 2008 parlano di 1.038.000 persone, anche se tale cifra è da ritenersi approssimativa e conservativa, data la grande presenza di immigrati irregolari.

Occupazione del territorio urbanizzato nella regione di Dakar per tipologia insediativa.

Regione		Tipologia abitativa						numero di famiglie
		ca-panne	barac-che	case basse	case a piani	apparta-menti	altro	
		%	%	%	%	%	%	persone
Da- kar	città	0,4	3,2	65	27,9	2,5	1	286987
	campa- gna	8,1	1,9	76,8	1,9	0,1	11,2	6695
	totale	0,6	3,2	65,3	27,4	2,4	1,2	293682

Fonte: ANSD 2012

La situazione degli insediamenti spontanei è caratterizzata da condizioni di fatiscenza, degrado, e, in taluni casi, pericolo, soprattutto nella zona di Plateau, dove si rendono necessari urgenti interventi di riabilitazione strutturale e demolizione dei molti edifici in prossimità del collasso.

Nel decennio tra il 1970 ed il 1980 i programmi di sviluppo urbano a Dakar mirarono a sfrattare gli occupanti delle cosiddette *bidonville* in quanto giudicati abusivi.

In numerose occasioni durante questo periodo, si assistette ad una politica che prevedeva la rimozione coatta degli occupanti e la demolizione dei loro alloggi. Per far fronte a queste problematiche negli anni si sono susseguiti una serie di interventi, tra cui si può ricordare quello delle “*parcelles assainies*” di Dakar e Thies.

Nel 1974, lo Stato del Senegal, con il supporto della Banca Mondiale, ha costituito nuovi quartieri periferici, tali “*parcelles assainies*”, per decongestionare il centro della città e soddisfare la richiesta abitativa delle classi sociali economicamente più deboli. Un primo incremento concreto del settore immobiliare si è iniziato a vedere nel 1981, grazie alla riorganizzazione del sistema finanziario¹⁷. Ma è dal 1985 che le politiche tecniche hanno operato

¹⁷ Lat Soucagé Mbow, “*Les politiques urbaines : gestion et aménagement*”, in: Momar-Coumba Diop (éd.), *Sénégal. Trajectoires d'un État*, Codesria, Dakar, 1992

un vero e proprio cambio di indirizzo¹⁸, volto alla realizzazione di unità di ricovero nella quale insediare gli occupanti degli insediamenti spontanei a rischio di collasso, la predisposizione di piani per l'adeguamento e l'ammodernamento degli edifici, comprendenti la realizzazione di infrastrutture e la fornitura di servizi pubblici. Un certo numero di comunità è anche riuscito ad ottenere il sostegno da parte dei politici locali per essere ufficialmente riconosciute e legittimate dallo stato. Più in generale, negli ultimi dieci anni, le autorità governative con il supporto di partner stranieri (GTZ, l'Agenzia francese per lo sviluppo, l'Unione europea e la *Fondation Droit à la Ville* di Dakar), hanno cercato di affrontare questa problematica attraverso l'attivazione di progetti pilota per l'upgrade dei numerosi quartieri spontanei presenti nella capitale¹⁹. In molti casi la tipologia costruttiva di molte abitazioni auto-costruite e le modalità di occupazione del suolo rendono l'aggiornamento difficoltoso. Spesso, le aree occupate da queste comunità non sono dotate di sistemi di drenaggio adeguati, causando condizioni igienico-sanitarie molto precarie.

1.3. TREND DELLA DOMANDA E DELL'OFFERTA NEL SETTORE DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE

1.3.1. Nuclei familiari ed esigenze abitative

L'alloggio ha una funzione importante nella società senegalese. Rappresenta l'esigenza primaria del nucleo familiare, oltre a rappresentare un marchio di successo sociale, sia nelle zone urbane che in quelle rurali. La ricerca di un tetto è considerata la prima delle responsabilità attribuite agli uomini, sia dal punto di vista sociale che religioso²⁰. Difatti, le statistiche nazionali indicano che più di tre famiglie su quattro sono possessori della proprietà che occupano, mentre solo il 17% vive in affitto. Rispetto alle statistiche nazionali il dipartimento di Dakar si differenzia per la forte presenza di alloggi in locazione (il 48% delle famiglie), denunciando un cambiamento di direzione sempre più orientato al

¹⁸ Le demolizioni hanno avuto luogo fino al 1999.

¹⁹ Un progetto di upgrade pilota operato in Dalifort, una comunità di circa 7.000 abitanti situata tra Dakar e Pikine composta da baracche di legno, viene attuato con il sostegno della cooperazione tecnica tedesca (GTZ).

²⁰ Il 95% dei senegalesi è di credo musulmano.

modello economico delle grandi città occidentali piuttosto che in linea con il contesto socio-culturale e geografico di riferimento.

Distribuzione delle famiglie per zona e titolo di possesso

Titolo di possesso	Zone									
	Dakar		Altre Città		Ambiente Urbano		Ambiente Rurale		Totale	
	Numero	%	Numero	%	Numero	%	Numero	%	Numero	%
Proprietari	121 572	43,9	145 199	69,8	266 770	55,0	540 891	92,8	807 662	75,7
Affittuari	113 018	48,0	43 799	21,1	176 817	36,5	4 670	0,8	181 488	17,0
Possesso gratuito	22 226	8,0	18 329	8,8	40 554	8,4	35 333	6,1	75 887	7,1
Altro	0	0,0	297	0,1	297	0,1	1 226	0,2	1 523	0,1
ND	51	0,0	295	0,1	346	0,1	685	0,1	1 031	0,1
Totale	276 866	100,0	207 919	100,0	484 785	100,0	582 806	100,0	1 067 591	100,0

Fonte: DPS72004: Secondo censimento Senegalese delle famiglie

La regione di Dakar ospita il 27,30% dei nuclei familiari²¹ del Paese, con una distribuzione sul territorio fortemente disequilibrata a favore delle zone urbane (97,7%), con una minima quota di famiglie residenti in quelle rurali (2,3%)²². Tale circostanza ha influito sulle dimensioni del nucleo familiare, che nella zona urbana di Dakar registra il valore più basso del Senegal, con una composizione media di solo²³ 7,3 componenti contro una media nazionale di 9,1 componenti. Se confrontato con le regioni limitrofe (media superiore a 10 componenti per nucleo), o con i precedenti censimenti, il dato rende l'idea del processo di occidentalizzazione che la forte urbanizzazione dell'area metropolitana di Dakar sta esercitando sulle dinamiche relative alla domanda di alloggi, in termini di caratteristiche tipologiche e dimensionali della casa *dakaroise* moderna.

²¹ È utile riportare la definizione di "famiglia" dell'istituto nazionale di statistica senegalese ANSD: "Gruppo di persone, imparentate o meno, che vivono sotto lo stesso tetto, raggruppando tutto o parte delle proprie risorse per soddisfare i bisogni di base tra cui l'alloggio e il cibo. Queste persone, chiamate membri della famiglia, di solito assumono il loro pasti insieme, e riconoscono l'autorità ad un'unica persona, definita capo famiglia. (ANSD-RGPH III-2002).

²² Fonte: SENEGAL – Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat – RGPH III – 2002

²³ A pochi km la media sfiora i 12 componenti per nucleo. Se paragonato alla media italiana di circa 3 volte più bassa (2,4 persone, censimento Istat gennaio 2010)

Distribuzione delle famiglie per dimensione e luogo di residenza

Dimensioni del nucleo familiare	Luogo di residenza									
	Dakar		Altre città		Aree Urbane		Aree Rurali		Totale	
	Numero	%	Numero	%	Numero	%	Numero	%	Numero	%
1 – 4 pers.	66 837	24,1	30711	14,8	97 549	20,1	51 110	8,8	148 659	13,9
5 - 9 pers.	115 542	41,7	88 045	42,3	203 587	40,0	245 758	42,2	449 345	42,1
10 – 14 pers.	59 721	21,6	54 026	26,0	114 746	23,5	175 178	30,1	288 924	27,1
15 – 19 pers.	21 548	7,8	24 334	11,7	45 883	9,5	68 784	11,8	114 666	10,7
20 – 29 pers.	12 760	4,6	9 748	4,7	22 508	4,6	39 559	6,8	62 067	5,8
30 pers. e +	458	0,2	1 054	0,5	1 512	0,3	2 418	0,4	3 930	0,4
Totale	276 866	100,0	207 919	100,0	484 785	100,0	582 806	100,0	1 067 591	100,0

Fonte: DPS72004: Secondo censimento Senegalese delle famiglie

Nelle aree urbane quasi il 46 % delle famiglie vive in abitazioni con un numero di vani sottodimensionato rispetto all'utenza, in condizioni di disagio psico-fisico e con uno scarso livello igienico. Gli alloggi con tre locali caratterizzati da una superficie utile inferiore a 75 mq²⁴ rappresentano la tipologia più diffusa a Dakar mentre a livello nazionale tale valore risulta leggermente più alto (4,2 vani per abitazione).

Secondo l'indagine sul controllo della povertà in Senegal (ESPS 2005) le spese per la casa assorbono gran parte del reddito dei residenti (25,7 %), di cui una grossa fetta (71,8%) è destinata al pagamento del canone di locazione, seguita dalle spese per i consumi energetici (17,1%), e da una minima quota dedicata ai costi di manutenzione (1%).

La domanda abitativa risulta molto difficile da quantificare con precisione, data la presenza di banche dati eterogenee afferenti ad una pletora di attori pubblici e privati (Governo nazionale e locale, Prefetture, Ministeri, società immobiliari pubbliche e private) non sempre chiaramente distinguibili, e data l'alta percentuale di abitazioni costruite in auto-promozione e/o senza titoli dai privati cittadini nell'ambito del cosiddetto "settore informale". Stime ufficiali del dicembre 2002 (cfr. proiezioni della popolazione del censimento 2002 DPS) affermano che il deficit abitativo di 115.000 unità fosse destinato ad aumentare in maniera esponenziale per l'effetto combinato della crescita naturale della popolazione e della migrazione rurale ancora abbastanza grande (PDU, 2025).

²⁴ Circa il 57% delle abitazioni

Con un tasso di crescita della popolazione di 2,5% l'anno, infatti, la popolazione dell'area metropolitana di Dakar è destinata a raddoppiare entro il 2025²⁵, secondo le stime del piano urbanistico regionale (*PDU Horizon 2025*).

Stima a parte, il dato storico mostra che l'estensione delle aree urbanizzate si sia duplicata nel solo decennio 1990-2000²⁶ e che per il soddisfacimento del fabbisogno abitativo attuale, si rende necessaria la costruzione annua di 7.000 unità e l'urbanizzazione di una quota parte di territorio regionale compresa tra i 120 e i 240 ettari all'anno.

Evoluzione della domanda abitativa a Dakar 2001-2025

Periodo	Abitanti supplementari	Domanda di alloggi supplementari
2001-2005	299 436	32 905
2005-2010	425 810	46 792
2010-2015	491 239	53 982
2015-2020	566 721	62 277
2020-2025	765 085	84 075
Totale regionale	2 548 291	280 031

Fonte: CAUS-PDU di Dakar 2025

Dal punto di vista del mercato immobiliare si sono amplificati gli effetti dei meccanismi di speculazione fondiaria ed edilizia causati dalla discrepanza tra il forte tasso di crescita della popolazione ed il relativamente lento tasso di urbanizzazione. Anche se alimentata da un trend di crescita del settore delle costruzioni, l'offerta di abitazioni ha riguardato essenzialmente immobili di fascia alta e di lusso, rendendo di fatto l'accesso alla casa al di fuori della portata della maggior parte degli abitanti della regione. Contestualmente le politiche per la casa hanno rilevato un fallimento nell'ambito dell'edilizia sociale, sia nel contesto della capitale Dakar che nelle città dell'interno della regione, lasciando al libero mercato il soddisfacimento della domanda per le famiglie a basso reddito.

Il reddito medio pro-capite mensile (ca. 150.000 franchi CFA) determina una capacità di indebitamento bassa (50.000 franchi CFA al mese) del cittadino *dakaroise* rendendo difficile, se non impossibile, l'acquisto di un alloggio sociale, il cui costo risulta compreso tra i 20 e i 25 milioni di franchi CFA. Così,

²⁵ Rispetto al 2000, anno di ultimo censimento del 2002.

²⁶ Fonte Ministero dell'Economia e della Finanza del Senegal.

nonostante la presenza attiva di un mercato edilizio di tipo sociale, esso si è rivelato inefficace rispetto al soddisfacimento della domanda. A prescindere dal recupero del vecchio parco abitativo, nei prossimi quindici anni (2010-2025), si stima che si renderà necessaria la costruzione di 84.000 abitazioni supplementari per soddisfare le esigenze di 765.000 nuovi residenti.

Proiezione della domanda a Dakar, suddivisa per tipologia, nel periodo 2005-2025

Tipologia	Periodo				
	2005	2010	2015	2020	2025
Case e Condomini	1 941	2 762	3 185	3 675	4 960
Ville	1 349	1 918	2 213	2 553	3 447

Fonte: UN-Habitat, *Profil du secteur du logement au Sénégal*, 2012

1.3.2. L'offerta dei promotori pubblici e privati

Sul piano dell'offerta, il mercato risulta caratterizzato dalla presenza di differenti attori di mercato, riconducibili essenzialmente a tre categorie:

- Aziende pubbliche e private
- Cooperative edilizie
- Cittadini privati

I più grandi operatori del comparto pubblico sono le società a partecipazione pubblica maggioritaria SNHLM²⁷ (*Société Nationale Des Habitants À Loyers Modérés*) e la SICAP²⁸ (*Société Immobilière Du Cap-Vert*), entrambe costituite negli anni '50, ed ancora attive sul territorio regionale, con una produzione media dall'inizio delle loro attività di circa 250 alloggi all'anno²⁹.

Nel comparto privato sono circa cinquanta le società di costruzione³⁰ operanti nel campo dello sviluppo e realizzazione di edilizia abitativa. Nonostante il grande numero, la loro capacità produttiva si attesta a meno di mille unità all'anno.

²⁷ Creata nel 1959, la SNHLM ha svolto un ruolo fondamentale nella promozione residenziale, attraverso le sue realizzazioni sul territorio nazionale consistenti in oltre 15.000 case (di cui 12.500 nella regione di Dakar e 41.000 terreni lottizzati (95% nella regione di Dakar), contribuendo a plasmare il panorama immobiliare del Senegal. Fonte: sito ufficiale <http://www.snhlm.sn/>

²⁸ Creata nel 1950

²⁹ Entrambe in netta flessione nel periodo 2003-2011 (SICAP 75 ab/anno, SNHLM 100 ab/anno).

³⁰ Ai tradizionali operatori del settore (tra i più affermati, la SIC, la SIPRES, la SAGEF, e SOCABEG), negli ultimi anni, si sono affiancate diverse aziende nazionali o branche di gruppi immobiliari esteri, operanti nel settore delle abitazioni di lusso, e rilevando una grossa fetta del fatturato totale del comparto.

La bassa capacità produttiva degli sviluppatori privati è dovuta principalmente alle difficoltà di accesso a lotti di terreno edificabile causate dalla forte speculazione fondiaria, e dalle limitate risorse finanziarie (mancanza di finanziamenti dagli istituti di credito e/o tassi bancari elevati) per sostenere l'investimento.

A causa delle difficoltà finanziarie di accesso al credito, sono sorte in Senegal, un gran numero di cooperative edilizie, le quali, godendo di meccanismi di accesso al credito agevolato³¹ presso la BHS (*Banque de l'habitat du Senegal*)³², sono riuscite ad occupare una posizione di rilievo tra gli operatori del mercato dell'edilizia residenziale. Nella città di Dakar attualmente sono presenti oltre 250 delle 700 cooperative approvate dal *Ministère de de l'Urbanisme et de l'Habitat* del Senegal³³, con una produzione di circa 4863 alloggi tra il 1988 e il 2000, a costi sostanzialmente inferiori rispetto a quelli praticati sul libero mercato.

La maggior parte degli interventi edilizi attuati sia dai promotori pubblici che da quelli privati e dalle cooperative sono concentrati nella regione di Dakar, riuscendo a coprire meno del 10% del fabbisogno annuale di abitazioni.

Produzione di alloggi e lotti edificabili suddivisa per soggetto promotore

Soggetto Promotore	Alloggi	Lotti edificabili
SNHLM (2003 - 2011)	100	1300
SICAP (2003 - 2011)	75	-
Promotori privati (2009)	232	584
Cooperative (1988 - 2000)	405	5 292

Fonte: UN-Habitat, *Profil du secteur du logement au Sénégal*, 2012

1.3.3. Produzione di alloggi in "auto-promozione"

Data la bassa capacità produttiva da parte dei promotori pubblici e privati e delle cooperative edilizie, la maggior parte dello stock abitativo delle città senegalesi, è costituito da alloggi realizzati in auto-promozione, ovvero secondo un iter procedurale che vede coinvolti in prima persona i privati cittadini in qualità

³¹ Grazie all'istituzione dell'ufficio statale di sostegno per l'edilizia sociale (BAHSO), che si occupa di assistere le comunità durante l'esecuzione dei progetti abitativi, di realizzare infrastrutture nelle aree rurali, di incoraggiare le famiglie a raccogliere risparmi per la realizzazione dei programmi edilizi e di contribuire alla riduzione del costo degli alloggi. Per l'attuazione della propria mission istituzionale la BAHSO opera prevalentemente in collaborazione con UN- HABITAT e con l'istituto di cooperazione tecnico tedesco GTZ.

³² In 30 anni di attività, la BHS ha approvato circa 30 programmi di costruzione promossi dalle cooperative edilizie.

³³ Fonte: *Direction de l'habitat social du Sénégal*, 2012

di promotori dell'investimento e, in taluni casi, di esecutori materiali del processo costruttivo. I processi di auto-promozione generalmente si sviluppano seguendo due filiere distinte e separate, ovvero quella che prevede il rilascio di un'autorizzazione da parte dell'autorità locale e segue le normative emanate dal ministero competente, e l'altra caratterizzata dalla realizzazione di edifici irregolari privi di ogni titolo autorizzativo. A Dakar si stima che la percentuale di alloggi appartenenti alla categoria degli immobili realizzati in auto-promozione rappresenti oltre l'80% del patrimonio costruito, di cui oltre il 50% realizzata senza titolo edilizio.

Se paragonato a quello dei capoluoghi delle regioni vicine quali Thies, Louga, Kaolack, Tambacounda, il numero di permessi di costruire nella regione di Dakar è piuttosto elevato. Tuttavia la maggior parte del volume annuo di costruzioni è rappresentato da costruzioni distribuite in modo incontrollato perlopiù nelle periferie delle aree urbane.

La predominanza di tale mercato è il risultato di considerazioni economiche, sociologiche e storiche. Spesso i cittadini ricorrono alle costruzioni abusive in quanto non detengono alcun titolo formale per l'occupazione del suolo di cui si ritengono "possessori". Inoltre la situazione lavorativa precaria ed i redditi sommersi non creano le condizioni di solvibilità sufficienti per accedere a prestiti bancari. Dunque l'autocostruzione (regolare o irregolare) sembra la scelta più adatta alle condizioni finanziarie della maggior parte delle famiglie. Essa presenta il vantaggio di consentire l'occupazione dell'immobile sin dal completamento delle sole parti essenziali, garantendo ai cittadini un veloce ritorno del capitale investito e un risparmio sul canone d'affitto non corrisposto. In questi ultimi anni, lo Stato sta incoraggiando le iniziative comunitarie e personali per la costruzione in proprio, nel tentativo di aumentare la percentuale di interventi realizzati con regolare titolo autorizzativo. Tuttavia, permangono le problematiche relative alla titolarità del suolo, e le procedure per l'acquisizione delle autorizzazioni necessarie rimangono tuttora inaccessibili alla maggior parte delle famiglie.

È molto difficile quantificare nel breve periodo il numero di unità prodotte in auto-promozione, sia perché le opere spesso si protraggono per più anni prima di

arrivare a conclusione, sia perché in genere i lavori vengono realizzati senza permesso. Alcune fonti indicano che l'auto-promozione arrivi a soddisfare l'84,75 % della domanda nazionale. Fatta salva la dovuta alea di indeterminatezza, per le ragioni sopra menzionate, la statistica si dimostra plausibile se si incrociano i dati della popolazione residente con quelli della crescita demografica e quelli provenienti dall'analisi dell'offerta del settore "ufficiale".

In tale settore "parallelo" il processo di progettazione e costruzione viene generalmente gestito per via diretta dai lavoratori autonomi o piccole imprese assoldate dal committente, senza l'ausilio della consulenza di un tecnico.

1.4. CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE E AMBIENTALI DELL'EDILIZIA ABITATIVA A DAKAR

1.4.1. Tipologie costruttive, materiali impiegati e consumi energetici

Come in quasi tutti i grandi agglomerati urbani, anche a Dakar l'organizzazione dello spazio urbano e la presenza di differenti tipologie costruttive riflette il tenore di vita dei cittadini che vi abitano. Sin dal periodo coloniale ad oggi, in tutte le città senegalesi, inclusa la capitale, è stata molto marcata la separazione tra primi insediamenti coloniali e quelli delle popolazioni indigene, sia dal punto di vista tipologico che infrastrutturale. Nei quartieri residenziali in stile europeo sono concentrate le fasce della popolazione ad alto reddito, mentre le famiglie a basso reddito ed i poveri vivono, come detto in precedenza, in aree caratterizzate spesso dalla mancanza dei servizi essenziali.

L'immagine dominante della casa nella regione Dakar è quella di un edificio con pareti di tamponamento in lastre o blocchi di cemento. Le statistiche rivelano infatti che l'85% delle abitazioni appartiene a questa tipologia costruttiva, l'8% di lamiera o di legno, il resto con pareti vegetali a maglia composte di stecche di bambù sottili (prevalentemente nelle aree rurali ad habitat spontaneo).

I tetti sono solitamente piani, tranne nelle strutture antiche o in palazzi coloniali, in cui si possono trovare tetti spioventi, mentre le abitazioni situate in aree suburbane e rurali hanno spesso tetti in lamiera ondulata.

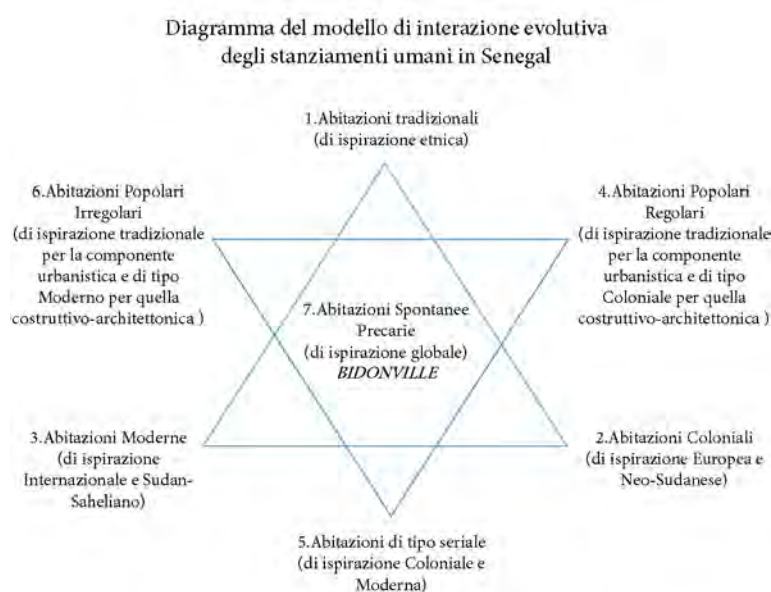
In tutto il territorio nazionale, più di una famiglia su due (56,2%) vive in case basse, mentre il 30,8% dei nuclei familiari alloggia in capanne e il 2,5% in

baracche. Infine le case a più piani e gli appartamenti sono di proprietà rispettivamente dell'8,5% e dello 0,7% delle famiglie.

A livello regionale, Dakar presenta una situazione particolare: circa il 65,3% delle famiglie occupa case basse mentre a differenza della media regionale il 27,4% è alloggiato in case a più piani. Solo una piccola percentuale di famiglie vive in baracche (3,2%), in appartamenti (2,4%) o in capanne (0,6%) (RGPH III 2002: P134).

Analizzando gli agglomerati urbani senegalesi è possibile individuare un modello di interazione evolutiva degli stanziamenti in base alle diverse tipologie edilizie:

- Abitazioni tradizionali (di ispirazione etnica)
- Abitazioni coloniali (di ispirazione Europea e Neo-Sudanese)
- Abitazioni moderne (di ispirazione Internazionale e Sudan-Saheliano)
- Abitazioni popolari regolari (di ispirazione tradizionale per la componente urbanistica e di tipo coloniale per quella costruttivo-architettonica)
- Abitazioni di tipo seriale (di ispirazione coloniale e moderna)
- Abitazioni popolari irregolari (di ispirazione tradizionale per la componente urbanistica e di tipo moderno per quella costruttivo-architettonica)
- Abitazioni spontanee precarie (di ispirazione globale) **bidonville**.



Fonte: AEME: Atelier sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment en zone tropicale – Dakar, nov. 2013

Esempi di tipologie abitative senegalesi



Fonti: UN-Habitat, *Profil du secteur du logement au Sénégal*, 2012, *Cities Alliance Project Output*, *Strategie De Developpement Urbain Du Grand Dakar*

Nell'analizzare le caratteristiche dell'edilizia residenziale della regione di Dakar, non si può non considerare l'elevata percentuale di interventi effettuati su edifici esistenti.

Tali interventi sono volti al miglioramento strutturale ma, in modo particolare, all'ampliamento delle volumetrie, con l'aggiunta sia di camere che di interi piani. Questo fenomeno è dovuto soprattutto alle esigenze dei nuclei familiari tipici senegalesi che, come detto anche in precedenza, sono composti da un elevato

numero di componenti (7,3 nella regione di Dakar, che registra il valore più basso del Senegal)³⁴.

Percentuale degli interventi sulle abitazioni esistenti divise per dipartimento

	Dalifort	Aïnou.	S.S.1	Wakh.1	Wakh.2
Aggiunta di piani	24,2	17,5	8	8,6	14
- 1 piano	17,7	14,4	8	7,4	11
- 2 piani	0	3,1	0	0	0
Aggiunta di camere	43,2	38,2	36,7	44,5	29
- 1 camera	5,6	9,3	5,7	2,5	9
- 2 camere	11,3	9,3	9,8	7,4	8
- 3 camere	7	6,2	8,6	6,2	6
- 4 camere	19,3	13,4	12,6	28,4	6

Fonte: Elaborazione da "UN-Habitat, Profil du secteur du logement au Sénégal, 2012"

Da qui nasce l'esigenza di versatilità delle strutture abitative, che devono essere facilmente modificabili per adeguarsi alle mutevoli condizioni nei nuclei familiari. Gli ampliamenti abitativi, quindi, non interessano un numero limitato di casi e sono più frequenti negli insediamenti regolarizzati che in quello non regolarizzati.

Per quando riguarda l'uso e la diffusione dei materiali da costruzione, come si evince dalla precedente analisi delle tipologie edilizie, il cemento è sicuramente quello più usato. La presenza di minerali calcarei, in particolare a Bargny nella regione di Dakar, così come nella valle del fiume Senegal, ha permesso la creazione di diversi siti di produzione. Il 78,2% del cemento senegalese è venduto all'interno del paese, il 15,7 % della produzione viene esportata nella sub-regione dell'Unione *economica e monetaria ovest-africana* (UEMOA) mentre il 6,1 % nel resto del mondo. Dal 2005, a causa dell'aumento dei prezzi mondiali delle materie prime, il suo prezzo è aumentato considerevolmente. Il blocco di cemento è, quindi, il materiale più noto, il più popolare e ben padroneggiato, e trova impiego sia nelle costruzioni del settore formale che di quello informale su tutto il territorio nazionale. Solo il 7 % dei blocchi prodotti viene sottoposto a cottura, la restante parte viene fabbricata attraverso la

³⁴ Fonte: DPS/2004 "Secondo censimento Senegalese delle famiglie"

modellazione a freddo, utilizzando in tal modo poca energia grigia durante il processo produttivo.

Il problema principale di natura energetica riscontrato nell'uso di questo materiale, tuttavia è legato alle scarse proprietà intrinseche di coibenza termica. Per far fronte a questa carenza, gli edifici realizzati con murature in blocchi vengono isolati termicamente con i comuni materiali isolanti, quali la lana di roccia e la lana di vetro, per lo più importati dall'Europa, con un enorme dispendio economico ed elevatissimi costi ambientali dovuti al loro trasporto. Per giunta, tali materiali poco si adattano al clima umido senegalese e necessitano di trattamenti aggiuntivi per la loro impermeabilizzazione, facendo lievitare considerevolmente i costi di costruzione.

Altro materiale locale di larga diffusione nella produzione edilizia è la sabbia. Utilizzata prevalentemente quale inerte da costruzione, essa viene estratta dalle spiagge presenti sul litorale ed impiegata in cantiere senza ricevere particolari trattamenti prima dell'uso. Tale condizione presenta notevoli problematiche sia sul piano ecologico che delle performance fisico-meccaniche dei prodotti ottenuti. I diversi tipi di calcestruzzo e di malte ottenuti risultano di scarsa qualità, sia a livello estetico, perché soggette a fenomeni di degrado precoci quali efflorescenze e distacchi, sia sul piano della resistenza meccanica.

Il contenuto di salsedine è particolarmente nocivo alla qualità del composto ed inficia qualità e durabilità dei manufatti ottenuti.

Dal punto di vista ambientale, l'eccessivo sfruttamento delle spiagge ha notevolmente degradato la fascia costiera, provocando l'erosione del litorale ed il conseguente avanzamento del fronte marittimo.

Solo recentemente sono state introdotte severe restrizioni alle autorizzazioni estrattive, per i motivi sopra esposti.

Il divieto non sembra aver sortito grandi benefici, tuttavia, in quanto si è immediatamente generato un intensificamento dello sfruttamento delle dune, utilizzate come risorsa alternativa, nonostante queste ultime soffrano delle stesse controindicazioni, sia per quanto concerne l'impatto sull'ambiente, sia per la qualità delle opere edilizie.

Guédiawaye – estrazione della sabbia



Un ulteriore sguardo per quanto concerne i materiali locali va alla pietra. Ormai utilizzata solo limitatamente alle pavimentazioni, anticamente era il materiale di gran lunga più impiegato nella costruzione di edifici. La tipologia più diffusa nella regione di Dakar è una pietra calcarea di colore giallo, detta Rufisque, dal nome del Dipartimento in cui è maggiormente prodotta.

La produzione dei prodotti da copertura avviene per lo più a livello locale localmente, come lastre di fibrocemento, di zinco e alluminio, è affidata generalmente a piccole e medie imprese industriali e artigianali.

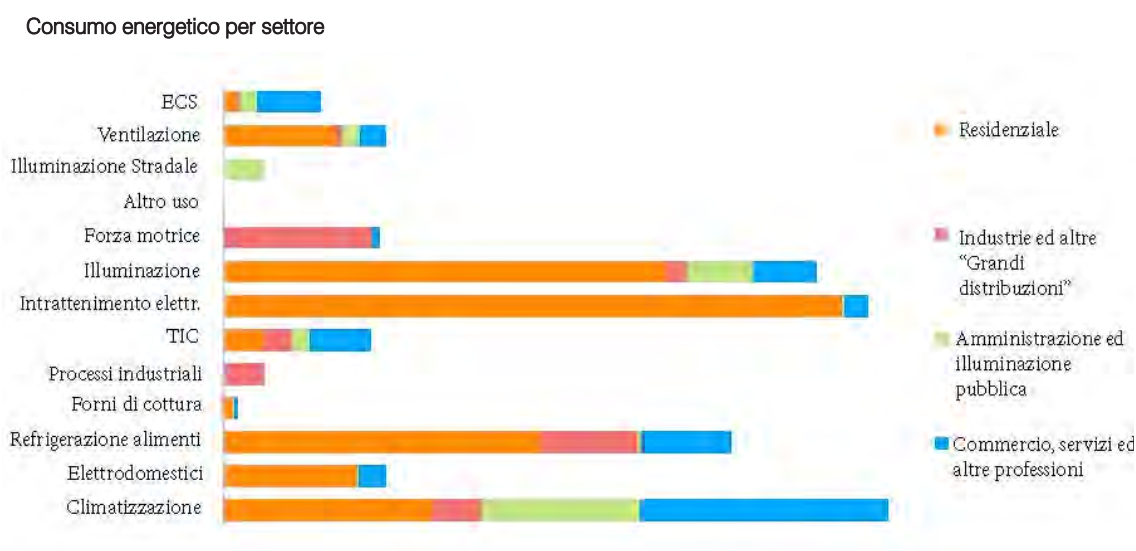
In seguito al rallentamento dell'attività edilizia nel 2009, le richieste sono diminuite del 19,9 %, raggiungendo i 363,9 miliardi contro i 454,1 miliardi nel 2008.

Nonostante l'esistenza di grandi riserve di ferro in Senegal, l'acciaio per cemento armato è totalmente importato. Analogo discorso può ritenersi valido per la ceramica, poco prodotta a livello locale, nonostante siano presenti numerose riserve di materie prime, costituite da sabbia silicea, marmo e argilla. Sebbene si sia evidenziato un calo assoluto in alcune annate, anche la quota relativa ai prodotti in vetro è in costante aumento nelle importazioni di materiali da costruzione, così come per il legno e i suoi prodotti. Il Senegal, infatti, non possiede abbastanza foreste per produrre legname sufficiente per il mercato edile.

Le tecniche e i materiali utilizzati per la costruzione di edifici influiscono enormemente sui consumi energetici della nazione, quasi il 30% della fornitura totale di energia elettrica, in gran parte prodotta da combustibili fossili, è consumata dal settore edilizio a causa dell'inefficienza degli isolamenti e

dell'uso di tecniche di costruzione inadatte al clima locale, il che rende necessario l'uso di apparecchiature elettriche in grado di condizionare l'aria per raggiungere un livello minimo di comfort. Un carico notevole è dato, inoltre, dal consumo di energia per l'illuminazione diurna, soprattutto negli edifici commerciali, dovuto anche questo, nella maggioranza dei casi, alla scarsa attenzione progettuale.

A causa degli impianti obsoleti e della difficoltà nel produrre una quantità di energia elettrica che soddisfi le esigenze della popolazione, negli ultimi anni si sono avute spesso interruzioni dell'elettricità che hanno indotto molte piccole e medie imprese al fallimento. La soluzione ai problemi energetici del Senegal può essere trovata nel settore edilizio, con l'uso di materiali e tecniche costruttive ecocompatibili che tendano a diminuire i consumi energetici.



Fonte: AEME: Atelier sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment en zone tropicale – Dakar, nov 2013

Una risorsa di possibile utilizzo per il settore residenziale per la riduzione dei consumi energetici negli edifici è rappresentata dalla Typha , una pianta infestante³⁵ presente in larga misura nel territorio senegalese che potrebbe

³⁵ Attualmente l'ecosistema delle regioni attraversate dal fiume Senegal è danneggiato dalla Typha, questa blocca i canali di irrigazione minacciando l'agricoltura e l'acqua, provocando gravi conseguenze per la salute della popolazione locale, più facilmente colpita da malattie come la malaria. Anche se l'eccessiva proliferazione di questa pianta è al momento un problema, potrebbe diventare facilmente una preziosa risorsa in un prossimo futuro, soprattutto nell'edilizia.

essere utilizzata come risorsa a basso costo³⁶ anche nell'industria delle costruzioni in diversi ambiti applicativi. I suoi possibili impieghi infatti spaziano da combustibile per la produzione di energia da biomassa, a biocarburante, e materiale da costruzione per realizzare pareti e solai a quella di isolante. E' quest'ultimo l'ambito in cui la Typha potrebbe meglio contribuire al miglioramento dell'efficienza energetica nelle costruzioni, secondo le linee guida recentemente emanate dagli organi governativi senegalesi ed i programmi per lo sviluppo promossi a livello internazionale. Considerando il fatto che il clima tropicale presente nella Regione è caratterizzato da un consistente sbalzo di temperature tra giorno e notte, la necessità di ritardare e diminuire il picco di temperatura all'interno di un edificio durante il giorno e di sfruttare la capacità di accumulo di calore delle sue mura risulta particolarmente importante per la riduzione dei consumi energetici e conseguentemente per il miglioramento del benessere termoigrometrico. Tale risultato è raggiungibile tramite l'impiego di isolanti costituiti da materiali, come la Typha, ad alto calore specifico capaci di mantenere, in spessori contenuti, i valori di sfasamento dell'onda termica entro i livelli compatibili con le richieste energetiche dell'edificio. Il risultato delle attuali sperimentazioni³⁷ condotte sul materiale rivelano inoltre che i pannelli realizzati con fibra di Typha e magnesite posseggono eccellenti qualità dal punto di vista della resistenza meccanica, dunque si rivelano particolarmente adatte ad essere utilizzate anche come pannellature di rinforzo strutturale o di controventamento in strutture leggere a pareti portanti o a telaio³⁸.

³⁶ La Typha comprende monoculture naturali aventi una produzione annua di 15 a 20 tonnellate di materia secca per ettaro.

³⁷ United Nations Development Programme: Technology Transfer: Typha-based Thermal Insulation Material

³⁸ Grazie alla resistenza a trazione sia delle fibre dello stelo che del tessuto spugnoso elastico, le foglie resistono a strappi e rotture, sono flessibili e mantengono la loro forma anche da secche. Queste caratteristiche forniscono notevole capacità portanti ed eccellenti proprietà di isolamento. Il comportamento a trazione ed a compressione delle foglie pressate è completamente diverso lungo l'asse foglia, dalla base alla punta, e perpendicolarmente ad esso: lungo l'asse, il materiale resiste ad elevati carichi di compressione (circa 1 N / mm) e ancora di più a quelli di trazione. Perpendicolarmente all'asse, invece, si ha una deformazione elastica già alla bassissima tensione di 0,01 N / mm, ma rimane nella gamma reversibile. L'ottima qualità dei pannelli isolanti di Typha si ottiene proprio grazie a queste particolari caratteristiche. I pannelli sono prodotti posando particelle di foglie di Typha in ordine casuale parallelamente al piano del pannello e legandole con magnesite, con un procedimento relativamente semplice.
Fonte: DETAIL 01-02/2014, "A New Load-Bearing Insulation Material – Typha Panels"

Pannelli in Typha rinforzati con magnesite



Le particolari caratteristiche strutturali dei pannelli di Typha permettono la produzione di materiali da costruzione che offrono una combinazione unica di capacità portante ed isolamento. La struttura della pianta comporta la particolare idoneità del conglomerato di foglie di Typha alla creazione di materiali da costruzione innovativi.

La semplicità della produzione di questo materiale, il basso costo, la resistenza e le prestazioni energetiche lo rendono una soluzione ottimale alle problematiche dell'edilizia senegalese. Contribuendo a riabilitare l'immagine delle abitazioni tradizionali, inoltre può rappresentare un mercato facilmente accessibile anche ai piccoli imprenditori locali.

1.4.2. Produzione edilizia per l'Housing a Dakar: manodopera e servizi tecnici

Il volume di produzione del settore delle costruzioni, dopo essere cresciuto in media del 10,6 % nel periodo 2002-2007, ha subito un calo nei due anni successivi, con 769,7 miliardi di franchi CFA (1.577 030 USD) nel 2009 contro i 816,2 miliardi di franchi CFA (1672 300 USD) nel 2008. Infatti, all' aumento medio del 11,2 % del valore aggiunto del settore edile, avutosi tra il 2002-2007, è seguito per il secondo anno consecutivo di calo del valore reale pari a 199 miliardi di franchi CFA nel 2009 (407 209 000 USD) contro 208 miliardi (\$ 426.169.000) nel 2008. Tale situazione è il risultato di un calo nella costruzione di nuovi alloggi nel 2009 causato, da un lato, dalla crisi finanziaria globale e, dall'altro, dalle difficoltà derivanti da ritardi nei pagamenti da parte dello Stato alle imprese operanti nei settori della costruzione e dell'ingegneria civile

pubblica. Nel 2009 la costruzione ha rappresentato il 4,3 % del PIL reale e il 22,1 % del valore aggiunto del settore secondario, contro rispettivamente il 4,6% e il 23,9 % dell'anno precedente. Tale calo nel settore delle costruzioni può essere spiegato dalle difficoltà che le imprese hanno ad operare nell'edilizia residenziale e nell'ingegneria civile; inoltre, nel 2009 si è verificato un calo dell'8.24 % dei fondi dei lavoratori migranti, parte del quale è destinato alla costruzione di abitazioni.

Il settore delle costruzioni è diviso in due componenti: una ben strutturata, denominata settore moderno ed un'altra meno strutturata chiamata settore informale. Un'altra suddivisione può essere fatta tra il sub-ramo B1, costituito da aziende specializzate nella costruzione di edifici, e quello B2 che comprende le società specializzate in lavori pubblici, come ad esempio il risanamento, la costruzione e l'asfaltatura di strade, la costruzione di pozzi, trivellazioni, ecc.

In ogni ambito della produzione edilizia, le componenti del settore, formale ed informale, non sono nettamente separate ma si intrecciano in una realtà molto complessa che comprende la catena di approvvigionamento, di produzione e di trasformazione. Tale situazione è dovuta, tra l'altro, alla competizione economica causata dalla concorrenza che contrappone settore informale e artigiani da un lato e settore moderno ed imprese dall'altro.

Nella costruzione di un semplice muro di blocchi di calcestruzzo, ad esempio, è coinvolta una serie di operazioni in cui il settore informale e quello formale sono fortemente concatenate. Nello specifico, per la produzione di cemento possono essere coinvolti diversi attori del settore informale anche se, in teoria, questo rientrerebbe nelle competenze delle grandi imprese del settore formale; nella stessa produzione e nel trasporto dei blocchi di cemento o della sabbia, della ghiaia, dell'acqua, nell'uso di macchinari vengono coinvolti gli attori di entrambi i settori; infine l'effettiva costruzione ed esecuzione di lavori affidati a un imprenditore, spesso è subappaltata a grossisti o artigiani.

Per quanto riguarda la manodopera, dal 2000 ad oggi, il settore immobiliare e, più in generale, il settore delle costruzioni e dei lavori pubblici soffre di una vera e propria mancanza di personale per realizzare le infrastrutture, le strade, gli edifici, i servizi.

È nelle categorie professionali di lavoratori qualificati che questa mancanza è maggiormente sentita,

in particolare per le figure del falegname specializzato nelle strutture di copertura, del carpentiere metallico e del fabbro.

Il problema della mancanza di una prospettiva di sviluppo per le imprese di costruzione senegalesi, sta nelle scelte degli istituti di formazione, che dovrebbero fornire tecnici e manodopera specializzata, ma che invece puntano su una didattica prettamente accademica, piuttosto che tecnica.

Questo discorso vale per tutte le figure coinvolte nel processo edilizio, sia a livello di operai specializzati e capomastri, che per i progettisti come geometri, ingegneri ed architetti.

1.4.3. Prezzi di vendita e costo di costruzione degli alloggi

Il prezzo di vendita di terreni e di case, applicato da sponsor pubblici e privati, non è gestito e controllato dal governo ma è stabilito, secondo la legge della domanda e dell'offerta, sia dagli operatori del settore formale che da quelli del settore informale. Il mercato immobiliare formale ha subito una forte crescita sia a Dakar che in altre città, tale fenomeno è dovuto a:

- Scarsità di terreni lottizzati e regolari
- Elevato costo dei materiali da costruzione
- Presenza in città di terreni di speculazione
- Mancanza di coinvolgimento da parte del governo nei finanziamenti per strade e altre reti
- Imposte elevate (IVA, registrazione, ecc.) sul costo delle abitazioni

Queste difficoltà portano le famiglie a basso reddito a ricorrere al mercato informale, il quale versa a sua volta in difficoltà finanziarie, dovute alla mancanza di garanzie di credito bancario e all'elevato costo dei materiali da costruzione.

La mancanza di un adeguato meccanismo di finanziamento ha come conseguenza una grande perdita di scorte di materiali realizzati per le nuove costruzioni ed, inoltre, l'acquisto di abitazioni sviluppate negli insediamenti informali comporta anche costi aggiuntivi, a carico delle famiglie a basso reddito, per avere l'accesso ai servizi di base. Tra il 2000 e il 2009 i prezzi medi

di vendita delle abitazioni si sono stabilizzati generalmente attorno ai 34 milioni di FCFA, con delle variazioni a seconda del numero di camere. L'andamento dei prezzi era tra i 21 milioni di franchi CFA per case di 1-2 camere, 32 milioni di FCFA per 3-4 camere e più di 57 milioni di FCFA per abitazioni di oltre 5 camere. I principali clienti sono i lavoratori delle amministrazioni pubbliche (50,0%), seguiti da dipendenti del settore privato (33,3%). Il tasso di vendita³⁹ di queste unità si attesta in media al 70% degli standard stabiliti dai programmi sviluppati tra il 2000 e il 2009. Nel corso degli ultimi cinque anni, il prezzo medio di acquisto si è assestato, in linea di massima sui 17,2 milioni di FCFA, incluse le vendite di baracche, considerando che per gli edifici moderni il prezzo è stato in media circa 19,2 milioni di FCFA. Questo notevole decremento del prezzo medio complessivo del mercato immobiliare, dimostra che le vecchie case hanno un'influenza al ribasso sui prezzi delle abitazioni. Per tipo di abitazione, il prezzo massimo si è avuto per l'acquisto di case a più piani, arrivando a quasi 30 milioni di FCFA. Tuttavia, anche i monolocali e gli appartamenti sono ben pagati, con un prezzo medio di 24,2 milioni di FCFA. Considerando i dipartimenti, Dakar presenta il prezzo di acquisto medio più alto, 21,9 milioni di FCFA, mentre Pikine e Guediawaye hanno, invece, prezzi di acquisto abbastanza simili di circa 10 milioni FCFA. Sorprendentemente, a Dakar anche le baracche sono oggetto di vendita e vengono acquistate per circa 3 milioni di FCFA. (Fonte: *Etude Monographique sur les Services Immobiliers du Logement à Dakar (EMSILD) – Août 2012*).

Il costo degli alloggi è costituito da una serie di fattori: il costo del terreno, delle attrezzature, i costi dei materiali, del lavoro, della progettazione e direzione dei lavori e infine quello fiscale e dei notai addetti alle transazioni. Nel settore formale, il costo di costruzione, inclusi i costi dei materiali, manodopera e il lavoro di progettazione raramente supera la metà del prezzo di vendita degli alloggi, mentre nel settore informale, dove le abitazioni sono spesso poco dotate di comfort, il costo di costruzione può raggiungere l'80% del costo delle abitazioni, soprattutto in aree dove i prezzi dei terreni sono relativamente bassi.

³⁹ Rapporto tra il numero di case vendute e il numero di abitazioni costruite

Costo di Costruzione medio nella Regione di Dakar

Zone	Costo Medio (CEA)
Plateau Sud	4 778,398
Médina	7 512,193
Grand Dakar	9 428,147
Villages périphériques	4 805,966
Patte d'Oie	7 015,975
Pilane (Ins regolari) – Guédiawaye	4 792,182
Pilane (Ins. irregolari)	3 573,588
Rufisque	5 319,541
Bargny	3 505,690
Zone rurali	1 842,440
Media Regionale	5 352,725

Fonte: CAUS – PDU Dakar 2025

1.5. AZIONI DI POLITICA TECNICA PER LO SVILUPPO ABITATIVO DELLA REGIONE

1.5.1. Programmi per la Governance del territorio Regionale

I differenti attori operanti all'interno dei programmi di sviluppo nazionali ed internazionali affrontano la sfida della crescita urbana operando principalmente su due linee di sviluppo.

La prima segue le indicazioni del “*Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar - horizon 2025*” (Piano regolatore generale di Dakar – orizzonte 2025) sviluppato nel 2009 sotto il governo dell'ex presidente Senegalese Abdoulaye Wade. Tuttavia, il piano non è stato attuato così come non è stato assegnato alcun sostegno finanziario, né sono stati definiti approcci comuni dalle diverse parti interessate (regione, comuni, enti locali) e non è stata snellita la complessità della amministrazioni. Ogni comune avrebbe dovuto produrre un proprio piano di urbanizzazione dettagliato, Plan d'Urbanisme de Détail (PUD), in conformità con il Piano d'Urbanisme Directeur du Grand-Dakar, ma ciò non è avvenuto. Inoltre, né la società civile né la popolazione generale sono state coinvolte nella pianificazione.

Una seconda linea guida, la “*Stratégie de Développement Urbain du Grand Dakar*”, è stata poi sviluppata nel 2012 dallo Stato con il supporto della Cities Alliance, una coalizione globale di città e dei loro partner per lo sviluppo. Il piano è stato pensato per essere sviluppato durante un periodo di 25 anni, con lo scopo principale di fissare una serie di obiettivi strategici per la risoluzione dei

problemi ambientali, economici e sociali dell'area metropolitana di Dakar. Attraverso l'aggiornamento delle politiche di Governace urbana, unitamente ad un nuovo approccio di tipo partecipativo per la gestione del territorio, la "Stratégie de Développement Urbain du Grand Dakar" punta al coinvolgimento di tutta una serie di attori allo scopo di trovare soluzioni comuni, condivise e durature ai problemi della Regione.

A tal fine è stata istituita un'ampia coalizione comprendente il governo nazionale, un discreto numero di organizzazioni internazionali e le autorità locali della regione di Dakar. Inoltre è stato avviato un progetto pilota che mira a promuovere lo sviluppo urbano attraverso i confini comunali e dipartimentali, volto a migliorare il coordinamento e l'analisi collaborativa e di pianificazione tra i vari attori di processo. Purtroppo, la conservazione degli spazi pubblici, le priorità dei bambini e dei giovani, e la partecipazione non rientrano in questa strategia.

Parallelamente ai suddetti programmi di sviluppo, è di ingente importanza la linea strategica portata avanti dalla Banca Africana di Sviluppo, basata sul DSPR III⁴⁰. I punti cardine degli interventi previsti riguardano l'evoluzione del settore privato e il potenziamento delle infrastrutture. Analizzando l'economia e lo sviluppo del Senegal negli anni precedenti, sono stati individuati elementi critici come la scarsa diversificazione della produzione e la dipendenza di quest'ultima da fattori esogeni (fluttuazioni dei prezzi, afflusso di capitali stranieri, inondazioni, siccità). È nel settore privato che tutto questo ha avuto un maggiore impatto negativo, unitamente agli scarsi finanziamenti, ai costi di produzione elevati ed ad un deficit infrastrutturale. Con la redazione del *Programme de mise à niveau des entreprises* (PMN) si rivolge l'attenzione proprio al settore industriale, portando avanti una politica volta alla riconversione, in chiave più moderna, degli strumenti di produzione. L'attuazione di tale modernizzazione è da realizzare attraverso una continua assistenza tecnica, manutenzione e controllo dell'intero processo produttivo, integrando in esso il concetto di sviluppo sostenibile.

⁴⁰ Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté, 2010-2015

L'intero programma della Banca Africana dello Sviluppo è supportato economicamente anche a livello internazionale da numerosi partner, come la Banca Mondiale, e da varie nazioni, tra cui l'Italia e la Germania.

In questa prospettiva, le diverse strategie di crescita mirano a creare una cultura della competitività e dell'innovazione, attraverso uno sviluppo economico, sociale e tecnologico.

1.5.2. Strumenti per la modernizzazione del Settore delle Costruzioni

Per far sì che il settore immobiliare svolga un ruolo importante nello sviluppo economico locale e nazionale in Senegal, le imprese di costruzione formali (o formalizzate), sia a grande che a piccola scala, devono intensificare l'uso di materiali da costruzione locali e di tecnologie artigianali per fornire alloggi in quantità sufficiente e a prezzi accessibili. Il problema principale della scarsa produttività, oltre alla fluttuazione dei prezzi, è l'incapacità di creare nuove linee di prodotti per mancanza di professionalità tecniche specifiche. Quindi, per migliorare sia la produttività che la qualità dell'esecuzione del prodotto finale, è fortemente necessario investire sulla formazione professionale.

Su questo fronte, l'UCAD (Université Cheikh Anta DIOP de Dakar) ha strutturato un Piano Strategico⁴¹ per uno sviluppo delle risorse umane, volto a promuovere la conoscenza, in particolare nel campo tecnologico. Solo 1/3 degli iscritti all'università, infatti, sceglie lauree scientifiche. Questo comporta una notevole carenza di tecnici specializzati capaci di sostenere la ricerca, la produzione e la manutenzione nel campo delle costruzioni. Lo scopo dell'UCAD è la formazione di personale di alto livello, in grado di adattarsi sia al contesto africano che al mondo contemporaneo, affiancando la conoscenze della tradizione al progresso scientifico ed incentivando, anche su piccola scala, lo sviluppo di tecnologie e materiali eco-compatibili per conseguire una dimensione adeguata, accessibile e sostenibile.

Anche il governo senegalese ha iniziato a muoversi in questa direzione dal 2005 promuovendo un programma di cooperazione internazionale⁴² denominato

⁴¹ UCAD (Université Cheikh Anta DIOP de Dakar), *Plan Strategique 2011-2016*

⁴² In associazione con UN-HABITAT, Banca Mondiale, Association of Mayors of Senegal Cities Alliance, KfW Bankengrupp e UNDP

“Villes sans Bidonvilles”, attraverso il quale viene monitorato il fenomeno *Slum* in Senegal ed in particolare nell’area di Dakar. Con tale programma vengono elaborate strategie per l’upgrade degli *slum* esistenti e la prevenzione della formazione di nuovi, stabilendo piani di azione e mobilitando fondi, nazionali ed internazionali, per l’implementazione del programma all’interno del sistema istituzionale.

In seguito alle diverse proposte di sviluppo del settore delle costruzioni, sono state individuate delle basi di partenza per lo sviluppo di numerosi programmi, basandosi sulle differenti esigenze delle zone in esame. Ad esempio, nel Programma Nazionale “*Senegalese Cities Without Slums*”⁴³ proposto dalla Cities Alliance, l’asse denominato *Aménagement harmonieux de l’espace métropolitain* individua tra le problematiche la carenza di abitazioni e la forte pressione urbana che spinge le popolazioni ad insediarsi in aree a rischio, concentrandosi sulla necessità di migliorare le condizioni abitative generali come azione prioritaria del programma.

Tra le strategie individuate per la risoluzione delle sopra citate problematiche vi è la “Semplificazione dell’accesso alla casa e il miglioramento della qualità del costruito” da perseguire, tra le altre azioni, attraverso la “Promozione dell’industrializzazione delle costruzioni attraverso l’uso di materiali e tecniche industrializzate”, incentivando la produzione e l’uso di elementi standardizzati e ripetitivi. Attualmente nella realizzazione di abitazioni gli elementi standardizzati riguardano soltanto piccoli elementi, come mattoni, porte, finestre, piastrelle; ma la standardizzazione potrebbe concentrarsi su componenti più importanti: pareti in acciaio leggero armate, muri, tetti; fino ad arrivare a produrre intere abitazioni con tecniche costruttive e sistemi industrializzati. L’industrializzazione del settore edilizio potrebbe portare ad una produzione massiccia ed organizzata di prodotti standardizzati, il che ridurrebbe i costi e consentirebbe così una maggiore possibilità di vendita. A tal fine, però sarebbe necessario sviluppare la rete di trasporti al fine di assicurare una distribuzione nazionale efficiente.

⁴³ Projet de Stratégie de Développement Urbain du Grand Dakar, (HORIZON 2025) - Novembre 2010

1.5.3. Promozione della qualità energetica del costruito

Un'altra importante strategia di sviluppo del territorio senegalese riguarda il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici. L'AEME (*Agence pour l'Economie et la Maitrise de l'Energie*), durante un workshop svolto a Dakar nel novembre del 2013⁴⁴, ha analizzato il problema del dispendio energetico, cercando di individuare delle linee di azione. Le soluzioni previste vertono su tre punti fondamentali:

Il ruolo delle amministrazioni che, seguendo modelli e parametri di riferimento, hanno il compito di fare una “diagnosi” energetica degli edifici e di fornire una chiara regolamentazione, sia per quanto riguarda il nuovo che il costruito;

Un'adeguata formazione ed informazione della popolazione, attraverso le scuole, i mezzi radiotelevisivi, la stampa e la televisione, internet;

Ricerca e sviluppo, attraverso la produzione e la diffusione di materiali innovativi. Ulteriori strategie di sviluppo sostenibile sono state messe a punto dall'ECREEE⁴⁵, con l'obiettivo di superare tutte le barriere che ostacolano il mercato delle energie rinnovabili e dell'efficienza energetica in Africa occidentale, siano queste di tipo tecnico, legale, istituzionale, economico, finanziario e politico. Oltre ad incentivare lo sviluppo delle capacità e delle conoscenze delle imprese ed a promuovere investimenti, il Centro assiste i governi dell'Africa occidentale nel processo di integrazione delle energie rinnovabili e dell'efficienza energetica nelle loro politiche e strategie nazionali. L'ECREEE ha sviluppato 14 programmi attivi tra il 2010 e il 2015.

Infine, c'è un nuovo progetto in fase di preparazione da parte di UNDP⁴⁶ e GEF⁴⁷, detto “Programma nazionale di riduzione dei gas a effetto serra attraverso l'efficienza energetica nell' ambiente costruito in Senegal”⁴⁸.

Esso è volto al sostegno ed alla promozione dell'efficienza energetica nel settore edilizio con l'obiettivo di rendere diventano obbligatorie, su scala nazionale, le

⁴⁴ *Agence pour l'Economie et la Maitrise de l'Energie: ATELIER SUR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT EN ZONE TROPICALE – Dakar, novembre 2013*

⁴⁵ *ECOWAS Regional Center for Renewable Energies and Energy Efficiency*

⁴⁶ *United Nations Development Programme*

⁴⁷ *Global Environment Facility*

⁴⁸ *National Greenhouse Gas Reduction Program through Energy Efficiency in the Built Environment in Senegal*

misure di efficienza energetica, in particolare quelle per l'isolamento termico degli edifici nuovi ed esistenti. Tale progetto aumenterà la domanda di materiali isolanti termici locali di alta qualità a prezzi accessibili, come ad esempio quelli a base di Typha⁴⁹.

⁴⁹ *United Nations Development Programme: Technology Transfer: Typha-based Thermal Insulation Material*

CAPITOLO II

SISTEMI COSTRUTTIVI INDUSTRIALIZZATI E HOUSING ECO-EFFICIENTE: LA TECNOLOGIA DEI COLD FORMED STEEL

2.1 STRATEGIE E ORIENTAMENTI PER UNA CRESCITA ECO-EFFICIENTE DELL'INDUSTRIA DELLE COSTRUZIONI

L'impiego nel settore delle costruzioni di materiali, prodotti e processi di matrice industriale ha posto negli ultimi anni in luce l'importanza degli impatti che tali attività economiche determinano sull'ambiente. La questione ambientale si è quindi imposta come una delle priorità sia a livello politico che economico a scala globale. Secondo il WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*) sono sette le dimensioni dell'eco-efficienza⁵⁰ che un'attività produttiva deve prendere in considerazione durante lo sviluppo dei prodotti e processi industriali:

- Ridurre l'intensità delle materie utilizzate;
- Ridurre l'intensità dell'energia utilizzata;
- Ridurre la dispersione di sostanze tossiche;
- Favorire la riciclabilità dei materiali;
- Massimizzare l'uso di risorse rinnovabili;
- Aumentare la durata del prodotto;
- Aumentare l'intensità dei servizi.

Ciò implica obiettivi come:

- Minimizzare l'uso di energia, acqua, suolo, favorendo la riciclabilità e la durata del prodotto con una particolare attenzione agli imballaggi;
- Minimizzare le emissioni, gli scarichi e la dispersione di sostanze tossiche così come la promozione dell'uso di risorse rinnovabili;
- Fornire ai consumatori i benefici di funzionalità, flessibilità e modularità del prodotto, con servizi aggiuntivi e focalizzando l'attenzione sulla vendita dei prodotti di cui i clienti effettivamente necessitano;

⁵⁰ Una nozione di "Eco-efficienza" e' quella presentata dal BCSD (*Business Council for Sustainable Development*) alla conferenza mondiale di Rio sull'ambiente e lo sviluppo nel 1992. Essa consiste nell'offerta di beni e servizi ad un prezzo competitivo, che soddisfino i bisogni umani e assicurino la qualità della vita, riducendo nello stesso tempo gli impatti ecologici e l'intensità di risorse lungo tutto il ciclo di vita ad un livello almeno in linea con la capacità di carico/assorbimento stimata della terra.

- Implementare un SGA (Sistema di Gestione Ambientale) da integrare con l'esistente Sistema di Management Economico per costruire "l'approccio eco-efficiente".

Affinché i processi industriali collegati ai prodotti e sistemi costruttivi per l'edilizia possano raggiungere un adeguato livello di efficienza nello sfruttamento delle risorse ambientali, anche la Commissione Europea ha da anni istituzionalizzato e definito alcuni obiettivi fondamentali, in accordo con gli orientamenti comunitari ed extra-comunitari. Secondo tale documento strategico⁵¹ la crescita del settore nei prossimi anni dovrebbe avvenire perseguendo l'attivazione di processi produttivi eco-efficienti, con lo scopo di ottenere i seguenti risultati:

- 30% di riduzione dell'energia incorporata nei materiali e componenti edilizi a parità di prestazione;
- 30% di riduzione nell'impiego di materie prime per unità di prodotto;
- 40% riduzione dei rifiuti nel processo produttivo;
- Meno dell'1% dei rifiuti da costruzione destinati a discarica;
- 100% dei materiali da costruzione riciclabili e verso il 100% di riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione;
- Riduzione sostanziale del consumo di acqua.

La fattibilità di tale strategia di sviluppo è economicamente sostenuta dal principio fondamentale che la tutela dell'ambiente non è in antitesi col profitto, anzi può diventare per l'impresa fonte di vantaggi competitivi: di costo, grazie ad uno sfruttamento più razionale delle risorse; di valore aggiunto grazie ad un miglioramento dell'immagine aziendale e dei prodotti. Usare meno quantità di risorse e produrre meno rifiuti significa infatti risparmiare denaro e generare profitti (efficienza economica) e allo stesso tempo vuol dire proteggere l'ambiente, conservando le risorse naturali e riducendo l'inquinamento (efficienza ambientale).

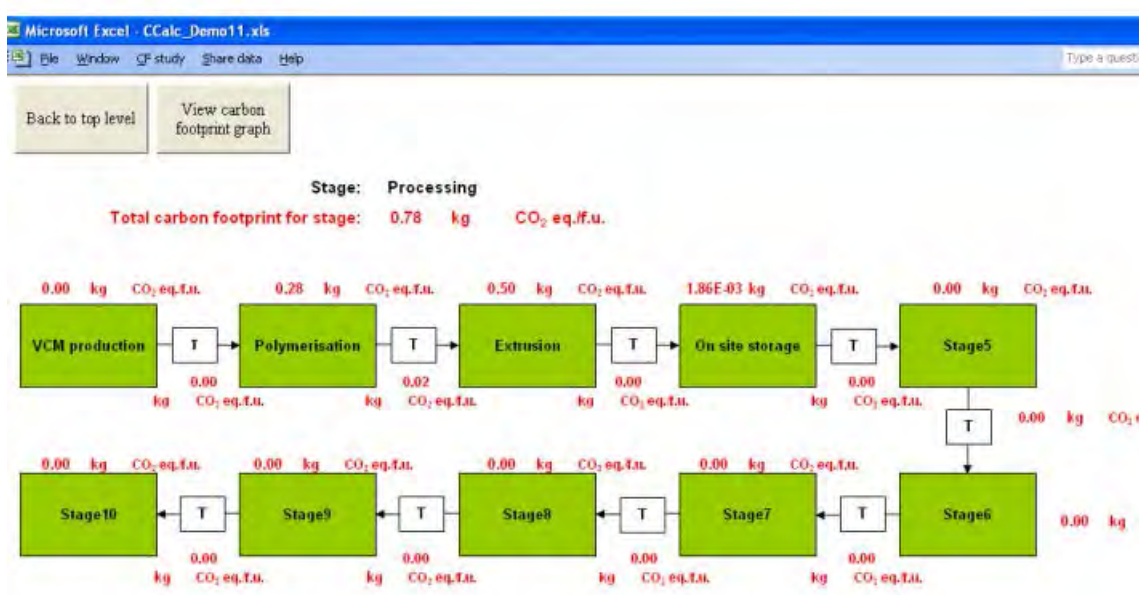
"Produrre di più con meno" è lo slogan dell'eco-efficienza, chiave dello sviluppo sostenibile e la premessa per uno sviluppo eco-trainato, ovvero uno sviluppo

⁵¹ European Construction Technology Platform (ECTP), Strategic Research Agenda for the European Construction Sector. Achieving a Sustainable and Competitive Construction Sector by 2030, Bruxelles, 2005, p. 22.

che considera il fattore ambientale non solo un parametro da rispettare ma un possibile driver di crescita.

Per il raggiungimento di tutti questi obiettivi le imprese dispongono ad oggi di un gran numero di strumenti "applicativi" che vanno ad aggiungersi e ad integrarsi al SGA come la valutazione del ciclo di vita del prodotto (LCA), le etichettature ecologiche, gli strumenti di certificazione e di registrazione ambientale (ISO 14001- EMAS II), la realizzazione di strutture a basso impatto (Edifici Verdi) ecc.

Schermata dello strumento CCaLC per il calcolo dell'impronta ecologica di prodotti/processi



CCaLC (Carbon Calculations over the Life Cycle of Industrial Activities), è uno strumento di supporto creato da un gruppo di ricerca dell'università di Manchester (UK) per consentire di calcolare con facilità l'impronta ecologica di prodotti/processi industriali, controllandone l'andamento durante le singole fasi della "value chain".

Tuttavia non sono poche le imprese che percepiscono soprattutto gli aspetti antieconomici dell'adozione di politiche di gestione ambientale. Per tale motivo, un comportamento eco-compatibile non sempre è il risultato di una sensibilità ecologica: spesso è frutto di pressioni normative e competitive⁵².

⁵² A tale riguardo può essere significativo riportare le parole pronunciate dall'Ecodirettore Volkswagen Ulrich Steger presso il BCSD tenutosi in occasione della conferenza di Rio de Janeiro del 1992: "Così facendo le aziende non hanno risparmiato nulla sui costi ambientali ed hanno dovuto sottostare alla logica del "command & control". Più le aziende hanno rifiutato di assumere compiti di protezione ambientale, più l'ecologia è diventato compito dello Stato. Inoltre hanno sprecato spazi di autonomia e libertà e si sono private di potenziali di innovazione e di mercato. Ciò dimostra che esistono motivi razionali ed economici per considerare la protezione ambientale come un compito aziendale."

2.2 TECNOLOGIE INDUSTRIALIZZATE E FATTORI DI RISPARMIO PER L'HOUSING

Le tecnologie tradizionali, talvolta denominate tecnologie povere, utilizzano “materiali di facile reperimento, a bassissimo costo di acquisto e bassissimo esborso per la produzione e il mantenimento”; al contrario le tecnologie evolute, tipiche della fase post-industriale, si avvalgono di materiali e tecniche innovative, spesso dematerializzate ed ad alto valore aggiunto.

Data la maturata consapevolezza e l'importanza della problematica ambientale che sottende alle scelte effettuate, una corretta impostazione sulla scelta di una tecnologia che si possa definire “appropriata”⁵³ per un determinato contesto, dovrebbe tenere in debito conto i seguenti aspetti, ovvero:

- Problemi di contenimento dell'uso di prodotti d'importazione;
- Esigenza di eliminazione degli sprechi e di risparmio delle risorse non rinnovabili;
- Esigenza di riduzione dei costi globali (di costruzione, gestione, manutenzione) a parità di qualità del costruito;
- Necessità di coinvolgimento delle diverse utenze in un ruolo attivo all'interno del processo produttivo;
- Esigenza di controllabilità e gestibilità del processo da parte dell'utenza finale;
- Possibilità di valorizzazione di fattori non monetari e di risorse locali.

Nella ricerca di soluzioni operative nel campo edilizio dunque sono presenti numerose problematiche che spaziano tra i diversi livelli organizzativo, metodologico, tecnologico, gestionale, ecologico, continuamente interrelati o interrelabili fra loro, proprio per l'interpretazione attualmente accreditata del concetto di economia globale e/o di costo globale⁵⁴.

⁵³ "Tecnologia appropriata" è un termine, ormai entrato nel lessico degli architetti, che indica quel tipo di tecnologia che tende a fornire una risposta tecnica congruente agli obiettivi specifici d'intervento. Essa prende quindi diverse accezioni a seconda delle situazioni e dei condizionamenti economici presenti, delle risorse economiche e umane disponibili, delle ipotesi di miglioramento delle condizioni ambientali e dei contesti sociali, delle iniziative di salvaguardia e di sviluppo di prodotti e tecniche tradizionali.

⁵⁴ Costo globale = costo ecologico + costo sociale + costo di produzione + costo di gestione, dove per costo ecologico intendiamo la perdita di beni rari, non rinnovabili e/o produzione di rifiuti non riciclabili nella produzione di un organismo edilizio o delle sue parti; costo sociale: non corrispondenza generale alle esigenze dell'utenza diretta o indiretta; costo di produzione: somma di costi sociali delle idee più costi di trasformazione delle idee in prodotti reali.

Diversi possono essere dunque gli approcci per la realizzazione di fattori di risparmio operabili nei contesti dove il settore edilizio è caratterizzato da un generale livello di arretratezza.

Un primo approccio, potrebbe essere quello di operare scelte che prevedano l'uso di una tecnologia altamente meccanizzata che permetta la rapidissima produzione del bene, viceversa, è possibile prefigurare l'utilizzazione di tecniche che richiedano basso investimento iniziale di capitale ed ottengano i voluti livelli di produttività attraverso elevato uso di mano d'opera.

Esaminando nello specifico le opzioni disponibili per ottenere fattori di risparmio interni al sistema tecnologico si possono sicuramente elencare:

- Uso dell'autocostruzione parziale come strumento per il contenimento dei costi di produzione e di manutenzione dell'abitazione;
- Scelta di sistemi costruttivi che richiedano alta utilizzazione di mano d'opera e basso investimento di capitali;
- Scelta di sistemi costruttivi che richiedano minori consumi energetici e di acqua;
- Uso di tecnologie che possano anche costituire continuità con la struttura produttiva tradizionale (artigianato del legno, terra cotta, paglia, ecc.);
- Uso di macchine speciali da trasportare e da montare.

Dal punto di vista dei materiali e degli elementi costruttivi è possibile ancora mettere in campo azioni che prevedano:

- Introduzione di nuovi materiali che possano fornire prestazioni rispondenti alle esigenze con minori impatti sull'ambiente⁵⁵;
- Uso di materiali che debbano subire minimi processi di lavorazione per poter più facilmente rientrare in ciclo⁵⁶;
- Preferenza per quei materiali che, dopo la demolizione dell'edificio, saranno riutilizzati piuttosto che eliminati;

⁵⁵ In particolare i materiali prossimi al luogo di impiego, sottoprodotti di materiali agricoli, ecc. (ad esempio, pula di riso nella fabbricazione di mattoni, il guscio del cocco per pannelli prefabbricati con cemento, residui contenenti zolfo per blocchi, ecc.);

⁵⁶ Ad esempio, l'energia utilizzata per la formatura di una putrella non può essere recuperata

- Studio delle dimensioni più economiche tra gli elementi costruttivi, in modo da avere spese minime di fabbricazione e di montaggio in relazione ai processi di produzione, al materiale disponibile e alle caratteristiche della costruzione;
- Studio della concezione economica delle sezioni eterogenee in generale, e di quelle del cemento armato in particolare;
- Miglioramento delle caratteristiche dei materiali, dei metodi e dei processi di costruzione;
- Economie sulle materie prime con nuove tecniche di concezione e fabbricazione degli elementi;
- Utilizzazione di materiali locali poco costosi;
- Riduzione delle fasi lavorative⁵⁷ grazie all'uso di elementi pre-finiti;
- Semplificazione del procedimento costruttivo per permettere l'autocostruzione;
- Regolazione della fabbricazione dei materiali da costruzione ad un ordine modulare per evitare gli scarti;
- Studio dei metodi di giunzione che possano essere eseguiti da mano d'opera non specializzata o in self-help;
- Riduzione del costo degli elementi costruttivi per mezzo di concezioni più semplici, fabbricazioni in serie, dimensioni selezionate;
- Possibilità di sostituzione di elementi da parte dell'utenza;
- Studio di componenti evolutivi che permettano l'adeguamento progressivo alle esigenze future dell'utenza;
- Studio di componenti intercambiabili attraverso semplici operazioni di montaggio e facilità di reperimento attraverso l'unificazione dimensionale.

2.3 I SISTEMI IN CFS PER L'HOUSING

Le prime applicazioni dei prodotti in CFS nel settore residenziale risalgono ai primi anni del secondo dopoguerra, quando venivano impiegate come strutture

⁵⁷ Ad esempio attraverso la produzione di elementi tecnici che non abbiano necessità di finitura superficiale o di ulteriori lavorazioni

secondarie nella costruzione di alloggi sperimentali⁵⁸. Solo in tempi recenti il loro utilizzo è stato esteso alla costruzione di interi sistemi strutturali, trovando una prima diffusione di massa come alternativa all'housing in legno, proprio dove tale tecnologia era fortemente radicata (Nord America, Australia e Giappone). In questi Paesi l'espansione del mercato residenziale dei primi anni novanta, accompagnata da una forte crescita dei prezzi del legno dovuta alla scarsità delle risorse (nel Nord America si era assistito al deforestamento del 90% degli alberi di vecchia crescita), ha determinato l'affermazione dei sistemi strutturali *Cold Formed* nel settore delle abitazioni unifamiliari ad uno e due livelli raggiungendo importanti quote di mercato (15% in Australia e negli Usa⁵⁹). Basti pensare che negli ultimi 20 anni negli Stati Uniti il 25% degli alloggi unifamiliari è stato costruito in CFS (nel solo 1997 ne sono state realizzate più di 60.000 unità⁶⁰). In Giappone il mercato dei profili formati a freddo è dominato dalle costruzioni modulari grazie all'elevato livello tecnologico delle industrie nipponiche che ne rende conveniente l'impiego rispetto ai sistemi costruttivi tradizionali (ogni anno ne vengono prodotte più di 150.000).

Anche in Europa, sebbene solo più recentemente, l'utilizzo dei *Cold Formed* nel settore residenziale si sta diffondendo⁶¹, in modo particolare in Finlandia e nel Regno Unito dove l'utilizzo dei formati a freddo rappresenta già una valida alternativa ai materiali tradizionali. L'ultimo decennio ha visto anche la Spagna muovere i primi passi verso l'adozione dei sistemi a pannelli in CFS per la costruzione di abitazioni unifamiliari mentre in Italia il mercato residenziale dei profili formati a freddo sembra essere relegato ad applicazioni strutturali secondarie e all'impiego nella realizzazione dei moduli tridimensionali usati per fronteggiare le situazioni di emergenza (*containers*).

Di recente anche in Italia si sta assistendo al tentativo di diverse aziende che producono e realizzano costruzioni con profili formati a freddo per il settore

⁵⁸ Fonte: the Steel Construction Institute, SCI P260.

⁵⁹ Fonte: the Steel Construction Institute, SCI P260.

⁶⁰ Fonte: the Steel Construction Institute, SCI P302.

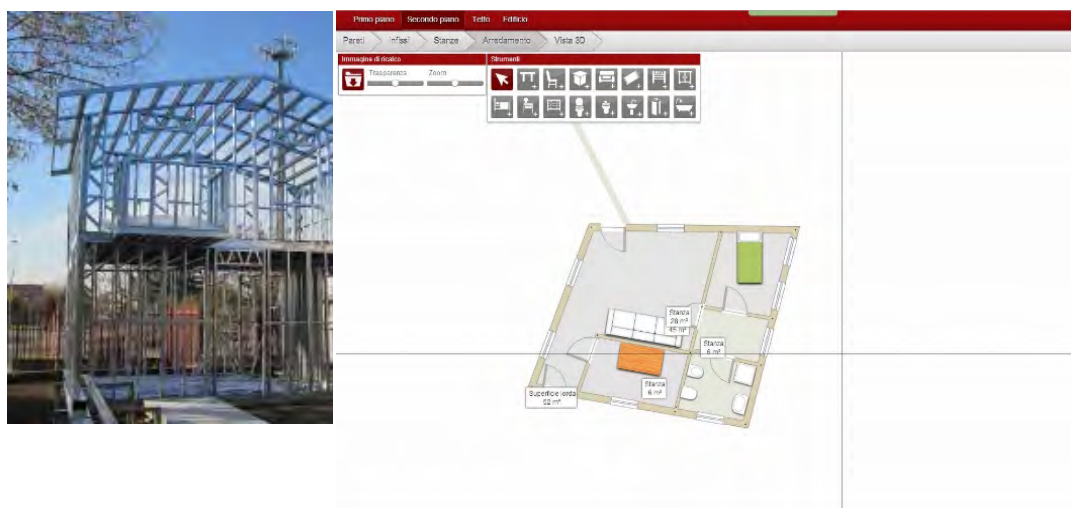
⁶¹ Tale crescita si allinea all'attuale affermazione nei Paesi industrializzati delle tecniche di prefabbricazione leggera e di costruzione off-site: in Inghilterra l'utilizzo di metodi costruttivi "moderni" (MMC – Modern Method of Construction), che includono tutti i sistemi costruttivi off-site più alcune tecniche di cantiere avanzate, è stato promosso dall'agenzia governativa per l'housing che ha destinato per il biennio 2004-2006 il 25% dei propri fondi a quegli interventi residenziali che ne facessero uso.

commerciale ed industriale di affacciarsi al mercato delle residenze in profili leggeri proponendo soluzioni abitative “chiavi in mano”, selezionabili da catalogo oppure personalizzabili dall’utente, puntando agli aspetti di sostenibilità, risparmio energetico e velocità di realizzazione⁶².

Abitazioni in CFS prodotte in Italia con formula “chiavi in mano”



Abitazioni pre-configurate proposte dall'azienda italiana COGI Srl



Telaio strutturale di un'abitazione prima del placcaggio

Fonte: sito web dell'azienda produttrice

Schermata del software easySTEEL® per la progettazione architettonica di abitazioni in CFS utilizzabile online direttamente dall'utente finale

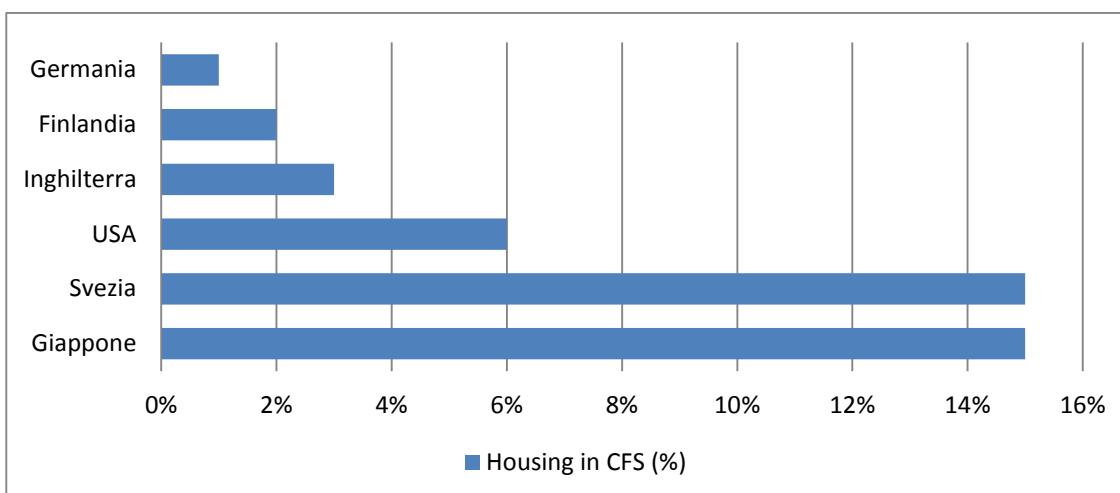
Il forte sviluppo del settore verificatosi negli ultimi anni è da attribuirsi alla pressione normativa in materia di riduzione dei consumi energetici, alla riduzione dell'impiego di materie prime e alla promozione di sistemi costruttivi che impieghino materiali facilmente riciclabili e con alto contenuto di riciclato.

⁶² E' significativo il caso della COGI Srl, presente sul mercato delle costruzioni a secco in acciaio leggero dal 1986, e che dal 2010 ha introdotto sul mercato il sistema costruttivo denominato steelMAX®, il quale attraverso il software steelEASY® (utilizzabile direttamente online) consente all'utente di auto-progettarsi la propria abitazione in pochi passi guidati.

Questi presupposti stanno rendendo più agevole l'ingresso dei sistemi in acciaio formato a freddo, non senza il prezioso supporto di enti ed associazioni internazionali che attraverso la pubblicazione e l'aggiornamento costante della manualistica tecnica di supporto a progettisti, costruttori e produttori, stanno creando le condizioni di know-how alla base di una corretta progettazione.

Tali iniziative hanno inoltre riguardato non solo la diffusione di una cultura tecnica sull'*housing* in CFS, bensì hanno operato una costante opera di informazione e promozione rivolta all'utente finale per il superamento della diffidenza con la quale i consumatori ancora guardano all'acciaio come materiale da costruzione per la propria abitazione.

Quote di mercato dell' housing in CFS in alcuni Paesi a maggiore diffusione commerciale.



Attualmente i profili in *Cold Formed* trovano impiego sia come elementi strutturali portanti che portati per realizzazioni ex-novo e negli interventi di ristrutturazione e di ampliamento di edifici esistenti, grazie alle loro caratteristiche di resistenza e leggerezza.

Le aziende produttrici stanno progressivamente ampliando i propri cataloghi con soluzioni di rivestimento per coperture e facciate dalle elevate caratteristiche di isolamento termo-acustico, dall'ottima tenuta all'acqua e dall'aspetto gradevole. Tali prodotti presentano un alto valore aggiunto in termini di tecnologia e consentono grossi risparmi di tempo in fase di montaggio.

La ricerca in questo settore è molto attiva dal momento che è stato stimato che, nei prossimi 10 anni, all'interno della Comunità Europea, si renderanno necessari grossi interventi di ristrutturazione sull'enorme parco edilizio costituito dagli alloggi residenziali pluripiano di costruiti tra gli anni 60' e gli anni '70.

Negli interventi di ristrutturazione, i profili in CFS sono molto apprezzati per la creazione di partizioni a secco, di elementi di chiusura verticale e per la realizzazione di solai; in quest'ultimo caso vengono usati sia come struttura principale che come struttura ausiliaria.

Un caso in cui il CFS risulta particolarmente vantaggioso è quello dell'aggiunta di piani ad edifici esistenti, realizzabile senza grosse difficoltà tecniche grazie alla leggerezza del materiale che non sovraccarica eccessivamente la struttura esistente.

Per quanto riguarda le abitazioni ex-novo le tipologie realizzabili con i sistemi in CFS variano dall'alloggio unifamiliare ad un piano ad edifici a torre di notevole altezza. In linea generale si può affermare che le strutture realizzate per assemblaggio in cantiere di elementi discreti sono utilizzate nel residenziale unifamiliare (villini, case a schiera, ecc), mentre la costruzione di edifici pluripiano con altezze superiori a tre livelli fuori terra viene prevalentemente realizzata mediante pannelli o moduli strutturali.

Elementi discreti in acciaio cold formed, detti Light Steel Framing (LSF oppure Light Gauge Steel Framing – LGSF), possono essere assemblati in pannelli verticali, orizzontali o tridimensionali per formare gli elementi portanti delle costruzioni. Il termine LSF include la categoria di edifici, residenziali e non, con ossatura in acciaio formato a freddo indifferentemente dalla tipologia degli stessi e dalle tecniche costruttive adottate.

La classificazione universalmente riconosciuta in letteratura ad oggi divide i sistemi strutturali in CFS per l'housing in:

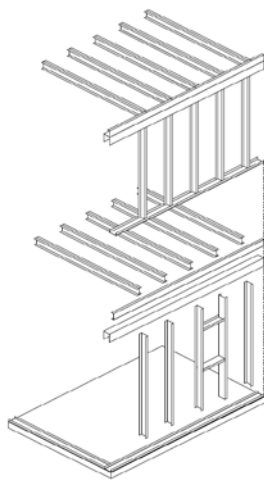
- Sistema *Stick Built* (o Monodimensionale)
- Sistema *Panelized* (o Bidimensionale)
- Sistema *Volumetric* (o Tridimensionale)

Nei tre metodi elencati, la differenza principale è rappresentata dalla quantità di operazioni eseguite in officina rispetto a quelle eseguite in cantiere (grado di prefabbricazione) ma nella sostanza dei fatti le strutture realizzate con i differenti sistemi costruttivi sono tutte riconducibili agli stessi schemi strutturali e impiegano gli stessi elementi base, riducibili a: profili ad U, profili a C e rivestimenti strutturali (*structural sheathing* o semplicemente *sheathing*). La combinazione dei vari sistemi ed i metodi di connessione adottati sono vari e cambiano da Paese a Paese, a seconda dei regolamenti edilizi vigenti e del grado di perfezionamento raggiunto dalle maestranze e dai produttori presenti sul mercato. Le tipologie edilizie realizzabili con tali sistemi costruttivi sono molto varie e spaziano dalla casa unifamiliare alla residenza collettiva, inclusa la tipologia a torre di elevazione non superiore ai 6/7 piani. Volendo effettuare un'ulteriore distinzione di massima si può affermare che il sistema ad aste (*Stick-built*) ed il sistema a pannelli (*Panelized*) sono prevalentemente rivolti ad un'edilizia di media e piccola dimensione, mentre il tridimensionale (*Volumetric*), le cui unità modulari possono avere dimensioni variabili su richiesta, può essere utilizzato per edifici di altezza maggiore.

In seguito verranno brevemente descritte le principali caratteristiche dei sistemi sopra elencati, fatta eccezione per il sistema monodimensionale *Stick Built*, il quale ripercorre, senza sostanziali differenze, le tecniche in uso nel noto sistema costruttivo ad aste in legno.

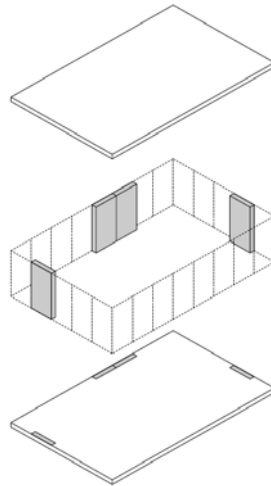
Verranno invece descritti gli aspetti fondamentali della tecnica costruttiva che vede l'impiego combinato di elementi bidimensionali e tridimensionali, di crescente utilizzo negli ultimi anni, tanto da aver già assunto secondo svariati autori dignità di sistema a se stante (*Semi-Volumetric o Hybrid Construction*).

I Sistemi Strutturali in CFS.

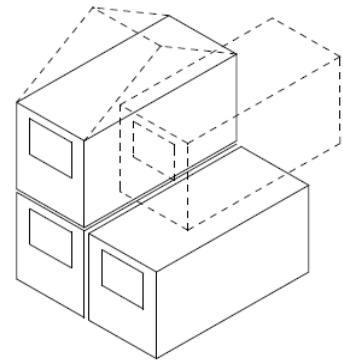


Sistema costruttivo ad aste
(*Stick Built*).

Fonte: elaborazioni dell'autore



Sistema costruttivo a
pannelli (*Panelized*).



Sistema costruttivo a moduli tridimen-
sionali (*Volumetric*).

Il Sistema a pannelli (*Panelized*) è adatto sia per pareti che per solai. Tale metodo risulta tanto più efficiente ed economico quanto più i pannelli assumono la stessa forma, la finitura può essere realizzata direttamente in officina, scegliendo tra molteplici tipi di rivestimento, oltre ai comuni pannelli provvisti di isolamento termico ed acustico, infatti, è possibile personalizzare in fabbrica la finitura in base alle proprie esigenze. I principali vantaggi offerti dalla costruzione a pannelli (o *sub-frame*) rispetto alla costruzione ad aste sono:

- la velocità di assemblaggio;
- l'elevato controllo della qualità durante la fase di produzione;
- la riduzione sui costi di manodopera specializzata in cantiere;
- la riduzione degli scarti.

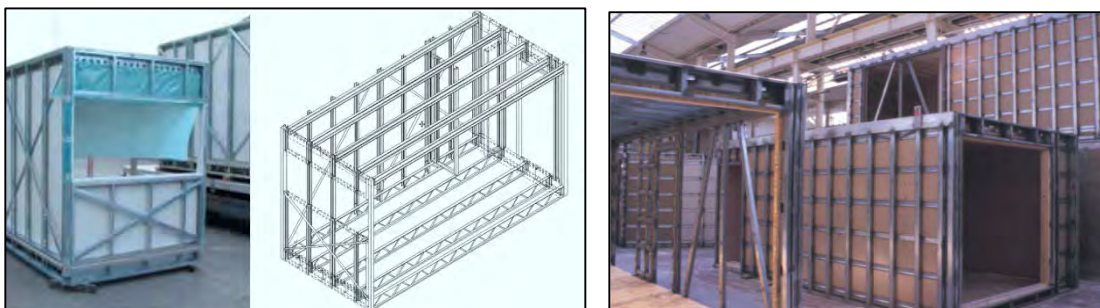
La connessione tra gli elementi solitamente viene effettuata tramite viti, bulloni o saldatura. Sistemi innovativi di unione come la clincatura e la rivettatura autoperforante, comunque, sembrano mostrare interessanti prospettive di sviluppo proprio nell'ambito della produzione industriale di pannelli. Il grado di prefabbricazione maggiore garantisce una accuratezza geometrica migliore di quella ottenibile con il metodo costruttivo *Stick-Built*, grazie all'automazione

meccanica del processo produttivo, tale aspetto rappresenta un vantaggio importante nella fase di applicazione dei materiali da rivestimento (superfici regolari, angoli a squadro ecc). La precisione dimensionale rende, d'altra parte, particolarmente importante la preparazione di un piano di fondazione accurato per la buona riuscita della costruzione.

Il massimo grado di prefabbricazione nel campo dei sistemi costruttivi in *cold formed* viene raggiunto dal sistema basato sull'impiego di moduli tridimensionali autoportanti i quali, a seconda della destinazione d'uso, possono essere suddivisi in:

- Unità tridimensionali per camere, complete di corridoi, scale o altri spazi connettivi per formare, mediante accostamento, l'intero edificio.
- Bagni e cucine modulari (*Pods*).
- Unità tridimensionali a lato aperto, utilizzate per formare camere di dimensioni maggiori, queste richiedono un maggiore irrigidimento durante il trasporto

Unità volumetriche.

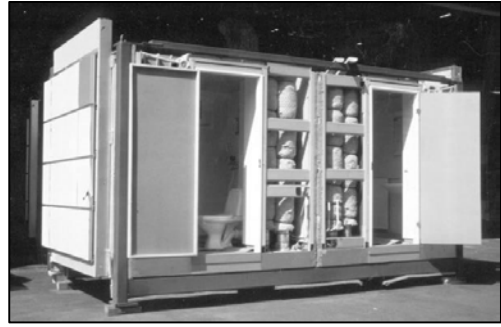


Sistema strutturale "Surebuild" prodotto dalla Unite in collaborazione con Corus Framing (Regno Unito) per la costruzione di camere per studenti.

Moduli per camera assemblati con il sistema Ayrshire system, formati da un telaio strutturale autoportante in CFS per la costruzione di edifici fino a 7 piani. I moduli misurano da 2,4 a 3,6 m di larghezza. Il sistema prevede l'installazione di 28 moduli al giorno con una squadra di 9 operai.



Impianto di produzione della RB Fraquhar per moduli bagno a Praga (Repubblica Ceca).

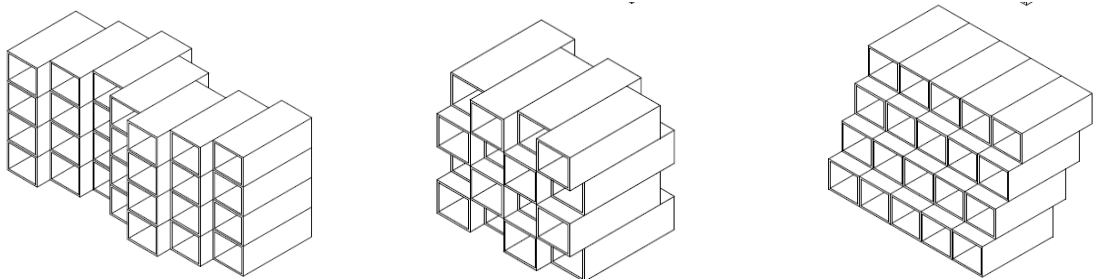


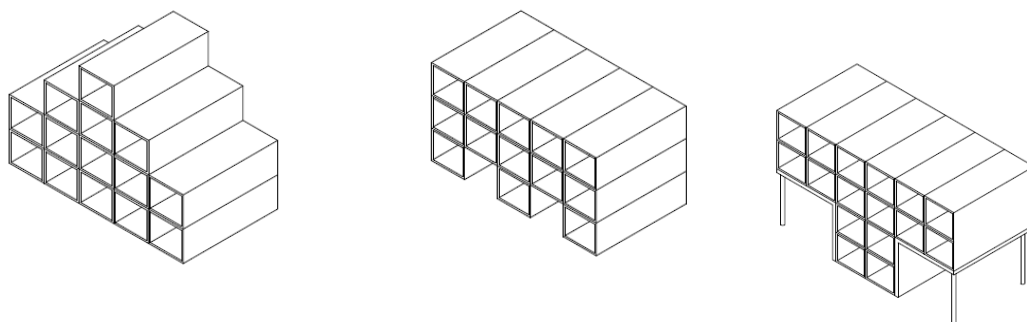
Pod autoportante con *toilet* e camera da bagno pronto per l'assemblaggio, Finlandia.

I principali vantaggi offerti dalle costruzioni volumetriche rispetto a quelle *panelized* sono molteplici:

- la riduzione dei tempi di costruzione (possono arrivare ad impiegare dal 30% al 60% in meno);
- la qualità superiore;
- la rilocabilità (i moduli possono essere riadattati e rivenduti come nuovi);
- la riduzione dei costi relativi alla manodopera specializzata.
- I moduli vengono assemblati in cantiere per accostamento orizzontale e verticale e resi solidali tramite appositi meccanismi di aggancio.
- È anche possibile ottenere modesti sbalzi tra i moduli superiori e quelli inferiori, previa una adeguata progettazione strutturale.

Schema di aggregazione delle unità volumetriche.





Il fattore che risulta maggiormente limitativo nell'impiego del sistema modulare è rappresentato dai vincoli normativi imposti al trasporto delle merci su gomma. La larghezza massima degli autotreni è pari a 2,55m mentre la lunghezza non può eccedere i 18,75m (16m escluso l'abitacolo)⁶³ per una altezza massima di 4m⁶⁴. Diversamente dalla sagoma, i limiti di massa non rappresentano un ostacolo al trasporto delle unità volumetriche grazie alla loro leggerezza. Il superamento dei suddetti limiti determina costose sanzioni amministrative, salvo che esso non avvenga tramite procedure di trasporto eccezionale regolarmente autorizzate⁶⁵.

Durante il trasporto le unità dovrebbero essere dotate di rivestimento antivento/antipioggia per evitare il danneggiamento dei rivestimenti sia interni che esterni, per tale motivo esse vengono generalmente rivestite con teli di plastica, i quali vengono rimossi dopo il posizionamento in opera.

Negli ultimi anni si stanno affermando soluzioni costruttive che vedono l'impiego di unità volumetriche per la costruzione delle aree ad alto contenuto impiantistico e di pannelli verticali ed orizzontali per le restanti parti dell'abitazione. Tale configurazione strutturale ibrida, denominata "sistema semi-volumetrico" (*Hybrid Construction*), ha mostrato interessanti risvolti applicativi caratterizzati da una forte valenza architettonica, liberando "l'*housing*

⁶³ Limite massimo per gli autotreni. Il limite per gli auto-articolati è di 16,50m e di 12m per i veicoli a due o più assi.

⁶⁴ Art. 61 del Codice della Strada. Esistono casi in cui queste dimensioni possono essere leggermente maggiorate per particolari condizioni di carico (ad es. per trasporto di merci deperibili in regime di temperatura controllata o autoveicoli).

⁶⁵ Secondo quanto stabilito dall'art. 10 del Codice della Strada.

volumetrico” dal vincolo di ripetitività seriale determinato dalla geometria fissa delle unità.

L'utilizzo combinato del sistema volumetrico e del sistema a pannelli offre l'opportunità di avvalersi dei benefici connessi all'impiego dell'uno e dell'altro, fornendo al consumatore una maggiore possibilità di personalizzazione. I costi di trasporto vengono notevolmente ridotti, se comparati a quelli connessi alle tradizionali costruzioni volumetriche, mentre viene mantenuto l'elevato standard qualitativo tipico dalla produzione *off-site* nelle aree ad alto valore aggiunto (bagni e cucine).

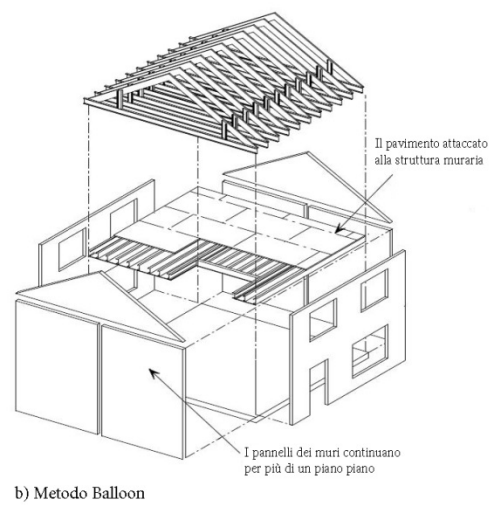
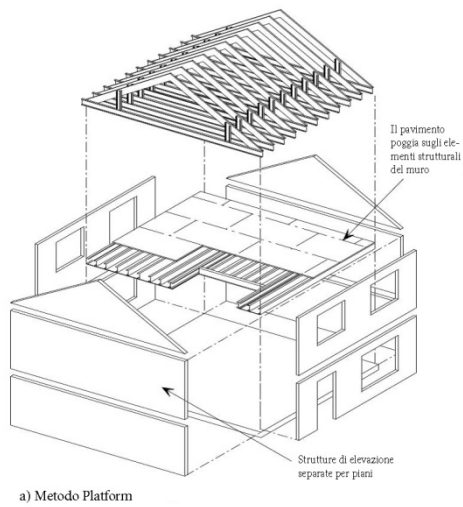
Due aspetti fondamentali legati alla riuscita della costruzione “semi-volumetrica” sono la progettazione accurata delle connessioni pannelli-unità tridimensionali e le procedure di assemblaggio in sito. Una razionale spaziatura degli elementi costituenti i componenti del sistema può velocizzare la messa in opera delle finiture, ridurre gli scarti ed abbassare i costi di realizzazione.

Una delle prime applicazioni del sistema semivolumetrico è rappresentata dal complesso residenziale ad alta densità Beaufort Court realizzato al centro di Londra dallo studio Fielden Clegg Bradley nel 2003.

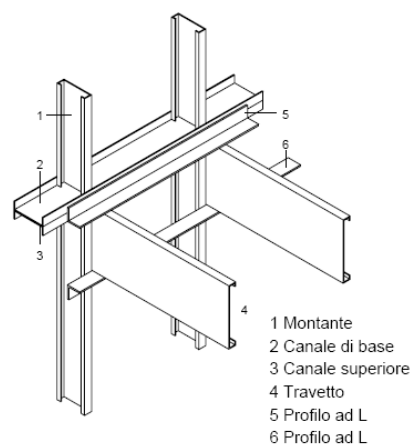
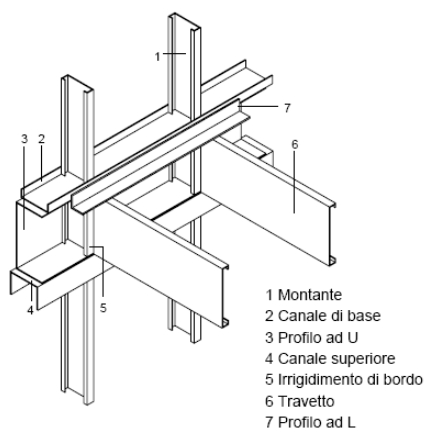
La struttura dei tre blocchi di 5 e 6 piani è formata da pannelli in *cold formed* per i muri e i solai, da moduli tridimensionali per i bagni e da colonne e travi in acciaio a caldo per i balconi ed altri elementi architettonici di facciata. La scelta di ibridazione delle tecniche, in questo intervento, è stata prevalentemente dettata dall'esigenza di ottenere un linguaggio architettonico personalizzabile (l'edificio ha dovuto confrontarsi con l'adiacente fabbricato del XIX secolo). Il complesso è stato realizzato con costi superiori del 15% rispetto ad uno stesso edificio in mattoni o cemento armato, ma tale perdita è stata largamente compensata da un più veloce *payback* derivante dal consistente risparmio di tempo in fase di realizzazione (-25% rispetto allo stesso edificio in muratura o c.a.).

Per quanto riguarda i metodi di assemblaggio, il sistema ad aste ed il *panelized* possono essere assemblati sia secondo il metodo *Platform (fig.a)* che *Ballon Frame (fig.b)*

Metodi Platform e Ballon frame. Assemblaggio.



Metodi Platform e Ballon frame. Attacco parete-solaio.



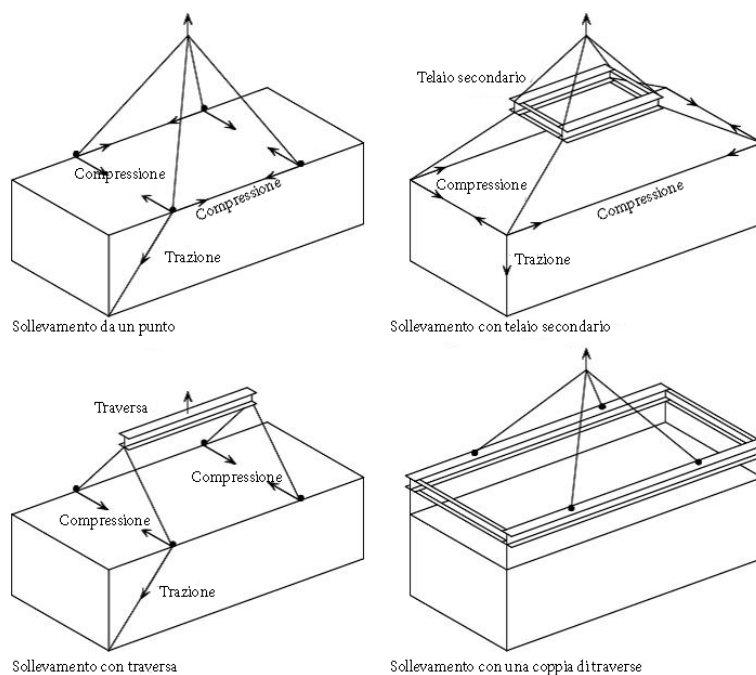
Nelle costruzioni *Platform*, pareti e solai sono costruiti un livello alla volta, cosicché le piattaforme costituiscono superfici praticabili su cui pareti e tramezzi possono esser assemblati ed eretti, le pareti sono quindi interrotte al livello di solaio e i carichi sono trasferiti alle pareti inferiori attraverso il solaio stesso. Il metodo di assemblaggio *Balloon* si caratterizza, invece, per la continuità delle pareti su più piani, ogni montante è costituito da un unico elemento di lunghezza pari a due o più piani e i carichi sono trasferiti direttamente attraverso la parete ai piani inferiori e quindi in fondazione.

Rispetto alle costruzioni *Platform*, le *Ballon* comportano maggiori difficoltà nell'innalzamento delle pareti, a causa delle dimensioni, e la necessità di installare dei controventi temporanei fino alla posa in opera dei solai.

Le costruzioni volumetriche vengono assemblate in cantiere per accostamento e sovrapposizione delle unità tridimensionali. La connessione tra le unità può essere effettuata tramite un connettore prodotto in fabbrica, appositamente progettato per le specifiche richieste, o direttamente in cantiere tramite bullonatura degli elementi strutturali adiacenti. Il trasferimento dei carichi verticali avviene direttamente attraverso l'allineamento delle colonne e dei muri, altri elementi di irrigidimento quali controventature o piastre di collegamento possono essere applicati dopo il montaggio di tutte le unità tridimensionali, per garantire stabilità all'intera costruzione.

Particolare attenzione deve essere rivolta al sollevamento delle cellule tridimensionali per evitare deformazioni della struttura e danni ai rivestimenti applicati, per costruzioni non molto alte e complesse è possibile sollevare le cellule tridimensionali dal basso, mediante carrelli elevatori, altrimenti si procede con il sollevamento dall'alto tramite imbracatura, come illustrato in figura.

Tecniche di sollevamento delle unità volumetriche.

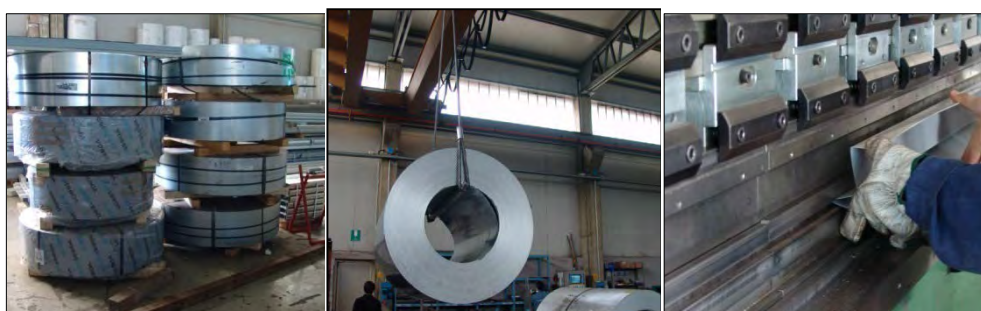


2.4 ORGANIZZAZIONE E SVILUPPI NEL SETTORE PRODUTTIVO DEI CFS

I prodotti *cold formed* vengono realizzati tramite piegatura a freddo di nastri di lamiera zincata che arrivano in officina sotto forma di rotoli (*coils*) di spessore e finitura superficiale variabile a seconda dell'utilizzo che se ne deve fare. Dal recepimento del prodotto semilavorato alla spedizione in cantiere il processo di lavorazione avviene secondo un flusso continuo, attraverso l'impiego di apparecchiature automatizzate e l'ottimizzazione dei processi di movimentazione e controllo. Il processo produttivo dell'elemento *cold formed* è costituito dalle seguenti attività:

- Commissione;
- Ricevimento ed immagazzinamento del coil;
- Progettazione Cad/Cam;
- Taglio⁶⁶;
- Profilatura/Presso piegatura;
- Punzonatura⁶⁷;
- Controllo;
- Assemblaggio;
- Immagazzinamento/Spedizione.

Passaggi di lavorazione della lamiera nell'impianto di produzione.



Immagazzinamento

Movimentazione
sul
carro ponte

Pressopiega

⁶⁶ L'operazione di taglio per ridurre la larghezza del nastro da profilare alla quantità desiderata (slitting) si rende sempre meno necessaria, data l'attuale possibilità di acquistare *coils* su misura direttamente dall'acciaieria a prezzo pressoché invariato rispetto ai formati standard, con evidente beneficio sui tempi di produzione.

⁶⁷ Di norma, per quanto riguarda gli elementi profilati, la punzonatura avviene a ciclo continuo durante il processo di rolling.



Profilatura



Punzonatura



Imballaggio

Fonte: Foto dell'autore presso l'impianto produttivo della Profilsider S.p.a. (Elmas – Cagliari)

La principale linea di sviluppo verso la quale è indirizzata la produzione è il trasferimento della flessibilità produttiva sugli impianti di produzione, concentrando lo sforzo innovativo nel settore dell'organizzazione e della gestione del processo produttivo. Tale orientamento risulta essere in linea con il progressivo passaggio dal tipo di produzione di massa, che ha rappresentato il modello produttivo del XX secolo (oltre a rappresentare la causa principale del fallimento della prefabbricazione e della produzione di serie nel settore edilizio), alla produzione snella, già proclamata dai più come il sistema produttivo del XXI secolo.

Processo di produzione di massa e produzione di componenti in cold formed a confronto.

	PRODUZIONE DI MASSA	PRODUZIONE CFS
PROGRAMMAZIONE	Previsione – Produzione Push	Su ordinativo – Produzione Pull
TIPO DI PRODUZIONE	Stock	Su ordinativo del committente
CICLO DI LAVORO	Lungo	Breve
LOTTI	Grandi - Ordine e Coda (<i>Batch & Queue</i>)	Piccoli – Flusso continuo
CONTROLLO	A campione dagli Ispettori	Alla fonte dagli Operatori/A campione dagli ispettori
FLESSIBILITA'	Bassa	Alta

Fonte: elaborazione dell'autore

Per quanto riguarda l'aspetto della programmazione, la produzione è organizzata per piccoli lotti predisposti alla spedizione immediata (produzione *just in time*). Infatti, grazie alla flessibilità delle macchine impiegate, risulta più vantaggioso produrre ed effettuare la consegna di forniture di piccolo taglio ad ordinativo conseguito (produzione *pull*), piuttosto che produrre grandi stock sulla base di una previsione di mercato cercando di massimizzare l'efficienza dei macchinari. Infatti è da tener presente che, se lo stoccaggio dei *coils* non costituisce un problema in termini di spazio occupato, il deposito di strutture pre-assemblate, come nel caso di pannelli o capriate per tetto, può causare difficoltà di movimentazione.

I prodotti in *cold formed steel* hanno raggiunto una ampia diffusione solo recentemente, sebbene siano presenti sul mercato da lungo tempo. Tale circostanza ha sostanzialmente dato esito ad un gap tra il livello della diffusione commerciale del prodotto ed il livello di innovazione tecnologica raggiunto. Negli ultimi 15 anni gli studi sulla materia stanno cercando di colmare questo divario agendo lungo due direttrici di sviluppo parallele, finalizzate al miglioramento dei fattori tecnologici da un lato e prestazionali dall'altro. È importante sottolineare il ruolo assunto da numerose associazioni e centri di ricerca nella promozione dell'acciaio *cold formed* come materiale da costruzione, tra le più importanti vi è sicuramente l'*AISI (American Iron and Steel Institute)* alla quale va il merito di aver promosso l'uso dei *cold formed* attraverso il finanziamento e la pubblicazione di numerosi codici e manuali sull'argomento⁶⁸.

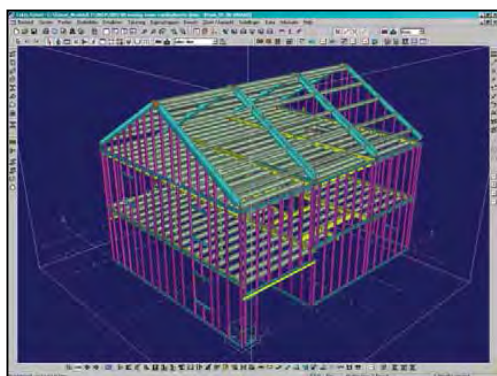
Sul piano delle tecnologie produttive, gran parte del merito per i risultati ottenuti è da attribuire ai progressi nel campo dell' *IT (Information Technology)* , i quali hanno permesso un notevole risparmio di tempo, maggiore garanzia di qualità e un generale miglioramento nell'uso delle risorse.

⁶⁸ L'*AISI* è stato il primo istituto a sistematizzare le conoscenze sull'argomento "*cold formed*": nel 1928 riunì una commissione tecnica per la formulazione di norme specifiche per la progettazione di strutture in CFS presso la Cornell University, capeggiata dal professore George Winter. Otto anni dopo, nel 1946, fu pubblicato lo *Specification for the Design of Light Gage Steel Structural Members*, e nel 1949 la prima versione del *Design Manual*.

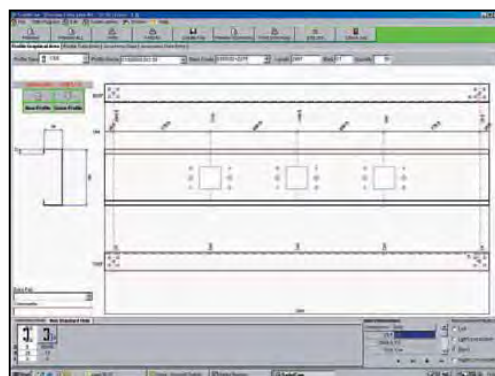
Grazie all'impiego diffuso di tecniche di IT, infatti, la fase di progettazione risulta particolarmente snella, consentendo cicli di lavorazione veloci e l'adeguamento del prodotto a varianti e modifiche in corso d'opera. È possibile quindi, già in fase di progetto, determinare con precisione le caratteristiche geometriche e meccaniche del prodotto finale, l'impiego del semilavorato, la quantità di scarti di produzione; tutti questi dati favoriscono la razionalizzazione delle risorse e dei processi di produzione.

Gli sviluppi tecnologici nel campo della piegatura a freddo della lamiera consentono ormai di ottenere una scelta di prodotti molto ampia e personalizzabile su richiesta del committente. A seconda delle specifiche richieste si provvede all'approvvigionamento del semilavorato (dallo stesso coil è possibile ottenere una vasta gamma di profili) ed in seguito alla progettazione del componente o del sistema, questa fase di norma avviene all'interno dell'azienda che appronta gli elaborati CAD/CAM da inviare in linea di produzione.

Progettazione computerizzata attraverso l'uso di softwares CAD/CAM.



Visualizzazione tridimensionale dello scheletro strutturale di un edificio residenziale, elaborata tramite l'impiego di software CAD



Foglio dati per la produzione di un montante in CFS compilato con un software CAM interfacciato alla macchina per la formatura

Fonte: Tekla

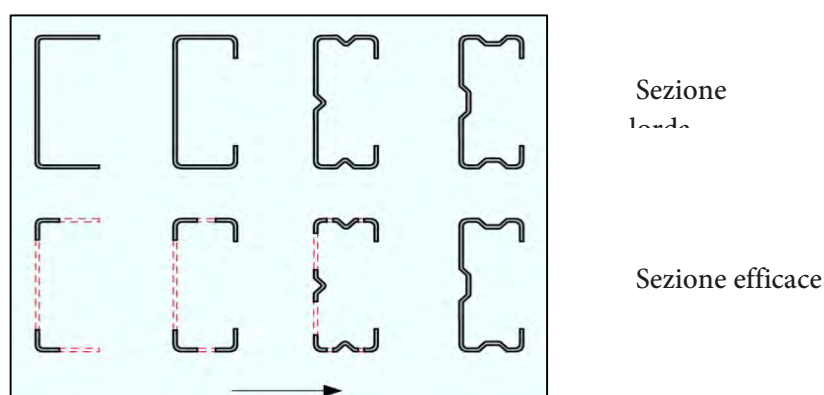
Le operazioni di formatura si susseguono attraverso processi prevalentemente automatizzati, tramite macchine a controllo numerico (CNC) con l'ausilio di un numero esiguo di operatori.

Il campo della profilatura, inoltre, è stato notevolmente migliorato grazie ai moderni software per la progettazione dei rulli che, attraverso la simulazione

digitale del processo di deformazione, offrono ai progettisti la possibilità di determinare il corretto processo di deformazione anche prima che i rulli vengano prodotti. Tali innovazioni hanno assicurato la possibilità di generare sezioni trasversali sempre più razionali ed efficaci dall'elevato livello prestazionale.

Molte aziende stanno investendo in questo campo brevettando una serie di profili evoluti dalle caratteristiche meccaniche migliorate, per conseguire una riduzione del peso degli elementi e dei tempi di assemblaggio.

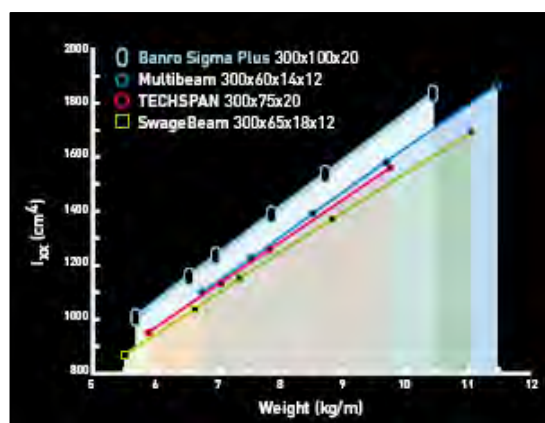
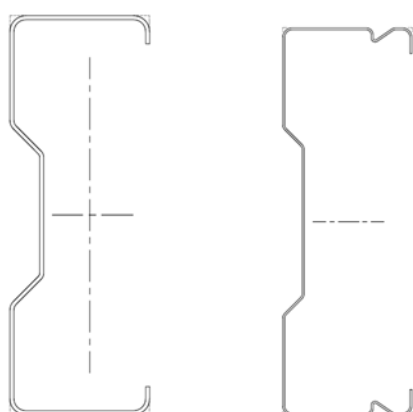
Evoluzione delle caratteristiche geometriche delle sezioni prismatiche.



Miglioramento dell'efficienza della sezione ottenuto attraverso l'inserimento di pieghe di irrigidimento

Ad esempio, la *Banro Sections Ltd* ha immesso sul mercato un tipo di sezione a C con un particolare irrigidimento dell'anima (modello *Sigma®* e *Sigma Plus®*) e dall'elevato rapporto resistenza/peso, che consente di ottenere risparmi sull'impiego della materia prima del 10%.

Confronto tra prodotti attualmente in commercio.



Sezione Banro
Sigma® S.200.70.

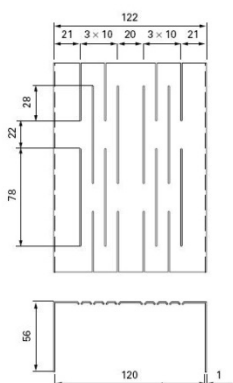
Banro Sigma Plus®
S.300.100.15

Grafico del momento di inerzia principale dei diversi tipi di sezioni prismatiche in commercio. A parità di peso (*Weight*) la sezione Sigma Plus presenta le prestazioni migliori tra le concorrenti.

Fonte: Banro Sections Ltd

In Finlandia la maggior parte dei sistemi in *cold formed* per l'*housing* impiega un tipo di profilato con l'anima perforata denominato *termoprofilo*, capace di incrementare la capacità termica dei telai del 90% grazie alla riduzione dei ponti freddi nella struttura. L'influenza della termoperforazione sulle capacità portanti del telaio è pari al 10%, quindi non riduce in modo significativo la resistenza della sezione, ovvero consente di ottenere stratigrafie dalle elevate performance termiche in spessori contenuti.

I Termoprofilati.



Sezione e prospetto di un termoprofilo ad U



Particolare di una sezione a C irrigidita realizzata con la *termoprofilatura*



Dettaglio d'angolo di un edificio realizzato in Finlandia con termoprofilati

Negli Stati Uniti è stato prodotto un tipo di acciaio denominato *full hard*, contraddistinto dalla sigla S550 (tensione di snervamento di 550 N/mm^2), ottenuto modificando alcuni parametri di processo del ciclo di produzione a freddo, conservando la stessa chimica degli acciai tradizionalmente utilizzati. Va poi sottolineato che le macchine profilatrici di ultima generazione sono in grado di fornire un elevato output produttivo, consentendo la lavorazione del nastro per la creazione di profili dalla morfologia complessa, anche lungo traiettorie curve. Esistono, inoltre, alcuni modelli di profilatrici da cantiere per la

formatura *onsite* delle sezioni più utilizzate nel sistema costruttivo ad aste (C, U, Z).

Macchine profilatrici da cantiere.



Profilatrici da cantiere usata dalla compagnia americana *Hunt Building Company*

Altro ambito di ricerca molto importante per la crescita del settore è quello riguardante il miglioramento dei sistemi di protezione dalla corrosione. L'orientamento attuale è quello di incrementare l'impiego di acciai con zincatura galvanica nelle costruzioni residenziali, tale rivestimento offre all'acciaio sottostante un triplo livello di protezione dagli agenti atmosferici, dagli effetti dei processi elettrochimici⁶⁹ e dagli urti accidentali⁷⁰. Uno studio recentemente condotto in America dall'*ILZRO (International Lead and Zinc Research Organization)* della durata di 5 anni ha dimostrato l'efficacia della zincatura galvanica su strutture sottoposte a diverse situazioni climatiche, i risultati forniti dichiarano che una struttura protetta con uno strato di zinco G60⁷¹ presenta una durata teorica che può raggiungere i 650 anni.

La ricerca è inoltre orientata verso il miglioramento delle prestazioni ambientali dei prodotti zincati, riscuotendo significativi traguardi negli ultimi anni. Dal 1996, infatti, sono in produzione (per prima l'Arcelor) acciai zincati che non presentano

⁶⁹ Lo zinco legato all'acciaio mediante bagno caldo è concentrato in superficie costituendo l'anodo nella pila di corrosione e si corrode al posto dell'acciaio. Per tale motivo questo tipo di protezione prende anche il nome di "rivestimento sacrificale".

⁷⁰ I prodotti di corrosione dello zinco, che sono insolubili, compatti ed aderenti, vanno a sigillare le zone dell'acciaio che, per una qualsiasi ragione (urti, graffi ecc.), vadano a trovarsi accidentalmente a contatto con l'ambiente esterno. Questo processo offre un'ulteriore protezione al substrato.

⁷¹ La sigla G60 esprime il tipo di zincatura galvanica secondo il sistema imperiale in uso nei paesi anglosassoni. Il rivestimento equivalente espresso secondo il SI è lo Z180 ovvero un rivestimento di zinco su ambo le facce del laminato pari a 180gr/m².

più il caratteristico fiore, in quanto sono stati eliminati dal bagno fuso metalli pesanti come l'antimonio ed il piombo. Si stanno progressivamente abbandonando anche i procedimenti di passivazione con soluzione cromica a favore di prodotti alternativi, speciali resine dello spessore dell'ordine di 1 micron possono, inoltre, essere applicate in linea di zincatura conferendo alla lamiera zincata una "super-passivazione". Una diffusione sempre maggiore si sta avendo per quanto riguarda i profili in Aluzinc®⁷², ovvero profili composti da acciai al carbonio laminati a freddo e rivestiti con una particolare zincatura a caldo, contenente il 55% di lega di alluminio in lega e l'1,6% di silicio, oltre allo zinco (43,4%); tale composizione chimica conferisce al laminato le consuete caratteristiche di protezione dalla corrosione dello zinco congiuntamente all'inalterabilità dell'alluminio. Prove di resistenza in nebbia salina hanno evidenziato che l'Aluzinc® ha una prestazione cinque volte superiore a quella di un prodotto zincato con rivestimento sacrificale di pari spessore e tali prestazioni lo hanno reso un prodotto molto utilizzato in applicazioni edilizie in ambienti esposti agli agenti atmosferici⁷³.

2.4.1 *Eco-efficienza della catena produttiva e approccio life-cycle dei prodotti in cold formed.*

Nonostante la mancanza di precisi orientamenti di politica tecnica, le innovazioni tecnologiche susseguitesisi durante gli ultimi decenni hanno condotto il settore edilizio verso un forte sviluppo industriale, seguendo spesso processi di autoregolamentazione.

Le esigenze di mercato relative alla riduzione dei tempi di costruzione ed allo svincolamento dalle condizioni atmosferiche, le istanze di valore aggiunto in termini di tecnologia e prestazioni, hanno difatti portato gran parte delle lavorazioni sui materiali e componenti per l'edilizia dal cantiere alla fabbrica, richiedendo un forte cambiamento delle tecniche produttive e costruttive.

Sul piano della produzione tali cambiamenti hanno riguardato principalmente una responsabilizzazione nell'uso delle risorse (materiali ed energetiche),

⁷² Aluzinc® è un marchio registrato della società Galvalange. Nei paesi anglosassoni questo tipo di rivestimento è riconosciuto dalla sigla Galfan®.

⁷³ Le linee guida per l'applicazione di rivestimenti protettivi in zinco ed alluminio alle strutture in acciaio sono contenute nella normativa UNI EN ISO 14713:1999.

prediligendo un approccio che mira all'eco-efficienza degli impianti produttivi e all'ottimizzazione del tempo e delle risorse.

Gli orientamenti attuali, infatti, riguardano un avanzamento in toto delle conoscenze e delle ricerche sia sul piano dei prodotti e materiali per l'edilizia, sia dei processi produttivi, con particolare attenzione verso la loro ottimizzazione sotto il profilo dei requisiti ambientali.

Questo tipo di approccio fondamentalmente ha mosso i primi passi partendo dai dettami della *lean production* ("produzione snella")⁷⁴, verso cui l'industria delle costruzioni ha rivolto la propria attenzione, grazie anche al sostanziale allineamento del sistema produttivo *TPS* con i criteri dell'efficienza energetica.

Le aziende produttrici di materiali per l'edilizia hanno operato una progressiva ridefinizione dell'intero processo produttivo, focalizzando l'attenzione sul miglioramento continuo piuttosto che sul risultato finale e puntando ad un controllo totale della qualità, all'eliminazione degli sprechi e ad un aumento della capacità produttiva resa più flessibile grazie all'utilizzo ottimale degli impianti, alla riduzione dei tempi di giacenza nei magazzini ed alla razionalizzazione delle forniture (produzione per piccoli lotti) .

⁷⁴ Sistema produttivo messo a punto dalla nipponica Toyota tra il 1950 ed il 1975 nel settore automobilistico, basato sulla sistematica eliminazione degli sprechi, sotto ogni forma ed ad ogni stadio della catena produttiva, e sull'implementazione dei concetti di flusso continuo e customer pull, ovvero miglioramento del prodotto secondo la prospettiva dell'utente finale.

Classificazione delle attività secondo il valore aggiunto nel processo produttivo di mass.

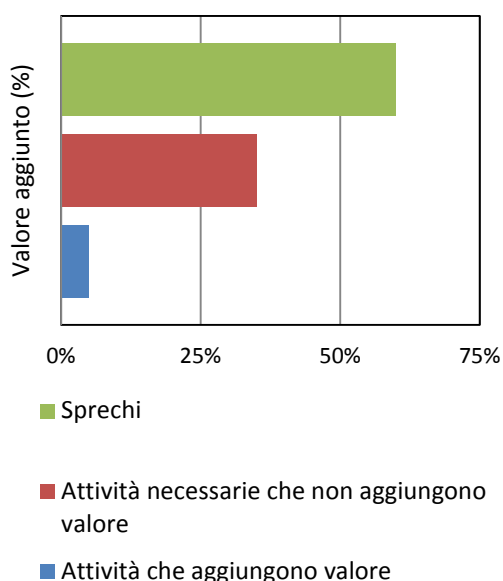
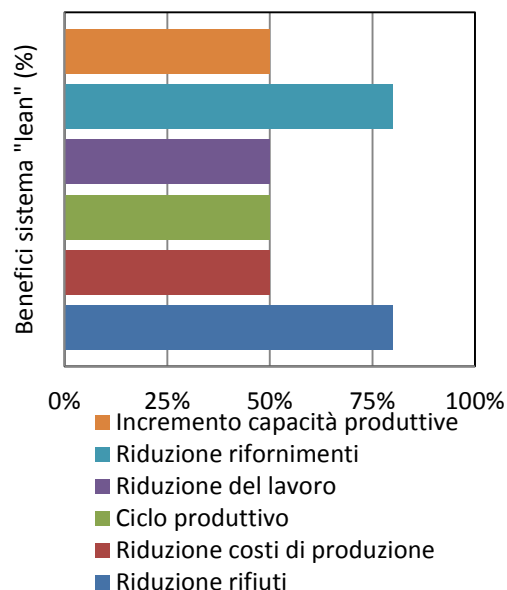


Grafico dei benefici derivanti dall'adozione di un sistema di produzione "lean".



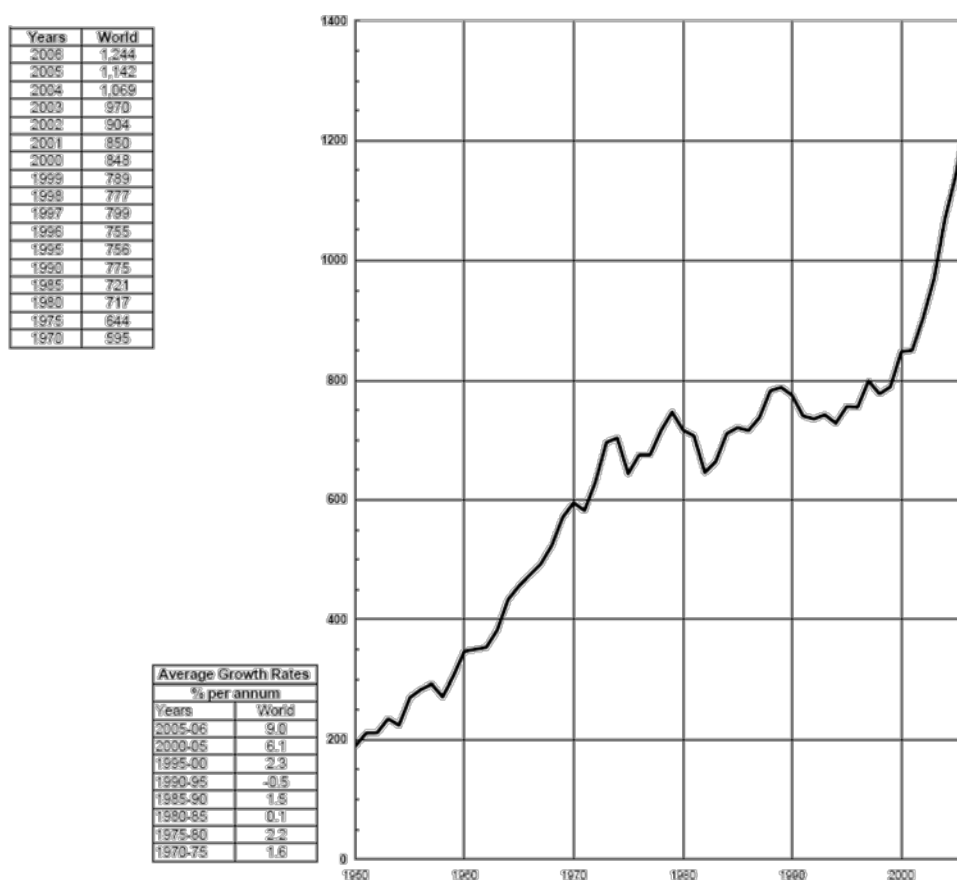
Sul versante delle tecniche costruttive questi mutamenti stanno trasferendo in cantiere quella "visione per processo" tipica del settore produttivo, arricchendolo progressivamente di contenuti tecnologici evoluti e di procedure costruttive di tipo avanzato.

Tutto questo è avvenuto tramite la condivisione delle logiche *lean*⁷⁵, sia con gli operatori che con i clienti, attraverso una progettazione integrata che mira a coinvolgere tutti gli attori del processo fin dalle prime fasi, secondo una visione strutturata e flessibile allo stesso tempo. Risulta chiaro che i benefici derivanti dall'impiego di questa metodologia trovino massima espressione nel campo delle costruzioni *off-site*, dove gli aspetti legati al miglioramento delle tecniche produttive giocano un ruolo preminente nell'ambito del processo costruttivo dell'edificio.

Negli ultimi 50 anni la produzione mondiale di acciaio ha rilevato una continua crescita presentando, in particolare, una forte accelerazione negli ultimi anni grazie alla crescente domanda di mercato di Paesi quali la Cina, la Russia e l'India (+8-10% annuo).

⁷⁵ Oltre Manica viene correntemente indicata come *lean construction* la declinazione del *lean thinking* al settore delle costruzioni.

Andamento della produzione di acciaio grezzo dal 1950 ad oggi.



Fonte: IISI

Secondo i dati provenienti dall'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) l'industria dell'acciaio è responsabile per il 3-4% delle emissioni totali di gas serra a livello mondiale. In media vengono prodotte 1,7 tonnellate di diossido di carbonio per ogni tonnellata di acciaio prodotto. A fronte di un aumento nei livelli produttivi, l'industria siderurgica mondiale sta compiendo grandi passi verso il raggiungimento di obiettivi di crescita sostenibile, ottenendo risultati considerevoli in termini di riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂, e tra tutti i prodotti in acciaio i migliori benchmark sono ottenuti dalle sezioni ottenute dai prodotti in CFS.

Indicatori ambientali per i più comuni prodotti da costruzione in acciaio nel Regno Unito

Plate	Sections	Tubes	Hot Dip Galvanised (generally)	Purlins and Side Rails
-------	----------	-------	--------------------------------	------------------------

CO ₂ (t/t)	0.919	0.76	0.857	1.35	1.10
Energy (GJ /t)	17.37	13.12	15.42	21.63	19.38

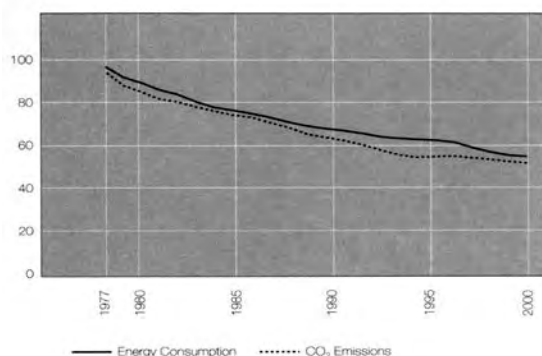
I dati in tabella sono stati derivati dalla banca dati redatta dalla World Steel Association secondo metodologia ISO 14040 riferita all'intero ciclo di vita (cradle to grave). Da notare come tra i prodotti da costruzione in acciaio i profilati (sections) posseggano i valori più bassi per entrambe gli indicatori presi in esame.

Negli ultimi 25 anni, infatti, gli sviluppi tecnologici in atto nell'industria dell'acciaio hanno riguardato:

- il miglioramento dell'efficienza energetica dei processi di fusione
- la crescita dei tassi di riciclo
- il miglioramento dell'uso dei prodotti in acciaio
- il miglioramento delle tecniche di protezione ambientale.

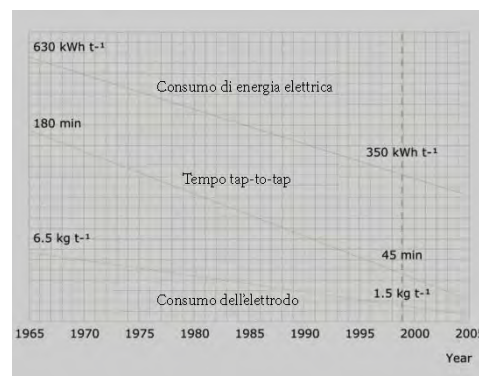
Per raggiungere tali obiettivi sono state introdotte diverse innovazioni riguardanti il processo produttivo, come ad esempio l'adozione del processo di fusione tramite EAF (*Electric Arc Furnace*) (Fig.2.19) e l'implementazione di tecniche di recupero e riuso dei gas e del calore derivanti dal processo di trasformazione delle materie prime.

Andamento dei consumi energetici ed emissioni di CO₂ della produzione mondiale di acciaio (1977-2000).



Fonte: Eurofer-Eurostat

Miglioramenti derivanti dall'adozione del processo di fusione tramite EAF (1965-2005).



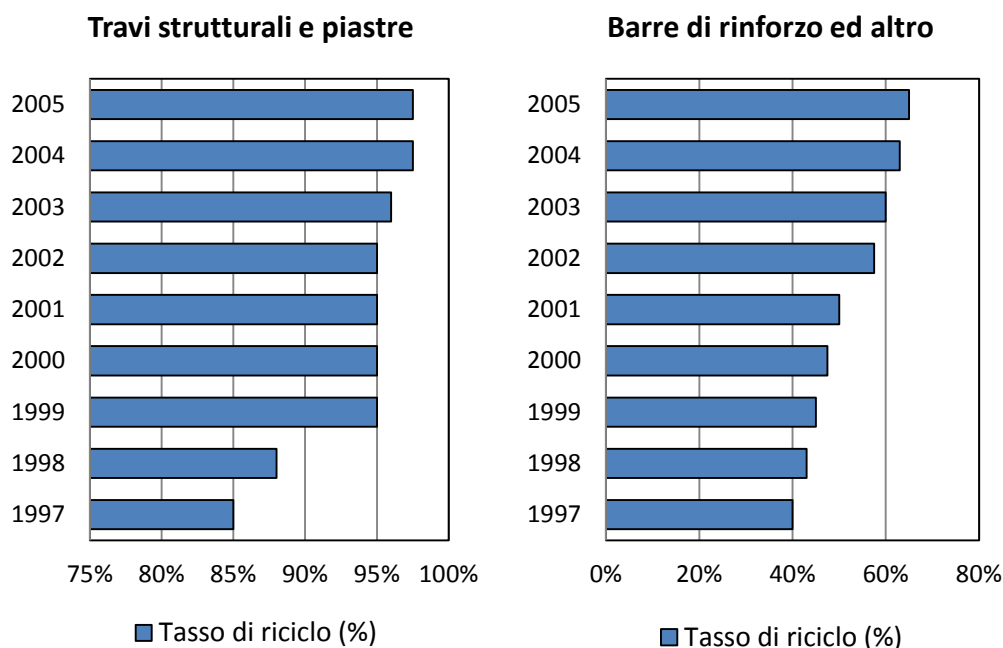
Fonte: IISI

La produzione di acciaio da forno elettrico (EAF) rappresenta un grosso vantaggio dal punto di vista produttivo, in quanto consente un notevole risparmio energetico (1t di acciaio prodotto in EAF richiede 1/5 dell'energia necessaria alla produzione di 1t di acciaio d'altoforno), utilizza oltre il 95% di rottame di acciaio come materia prima e riduce considerevolmente i tempi di produzione.

Attualmente nei Paesi industrializzati la quota di acciaio grezzo ottenuta tramite EAF supera anche il 60% del totale, così come in Italia dove nel 2006 tale quota si è attestata intorno al 62,6%, di gran lunga al di sopra della media europea (40,5%)⁷⁶. L'acciaio è in assoluto il materiale da costruzione con il più alto tasso di riciclo, maggiore della somma di quello di carta, alluminio, vetro e plastica insieme; ogni anno su scala mondiale se ne sono riciclati più di 435 milioni di tonnellate, pari ad oltre un terzo della produzione totale di acciaio grezzo, con un trend crescente in tutti i settori di impiego, dal 66,4% registrato nel 1988 al 75,7% del 2005 (*Steel Recycling Institute*).

Nel settore delle costruzioni la crescita delle quantità di acciaio riciclato è ancora più significativa, sia per quanto riguarda le barre di rinforzo per calcestruzzo armato che gli elementi strutturali.

Tassi di riciclo dei prodotti in acciaio da costruzione (1977-2005).



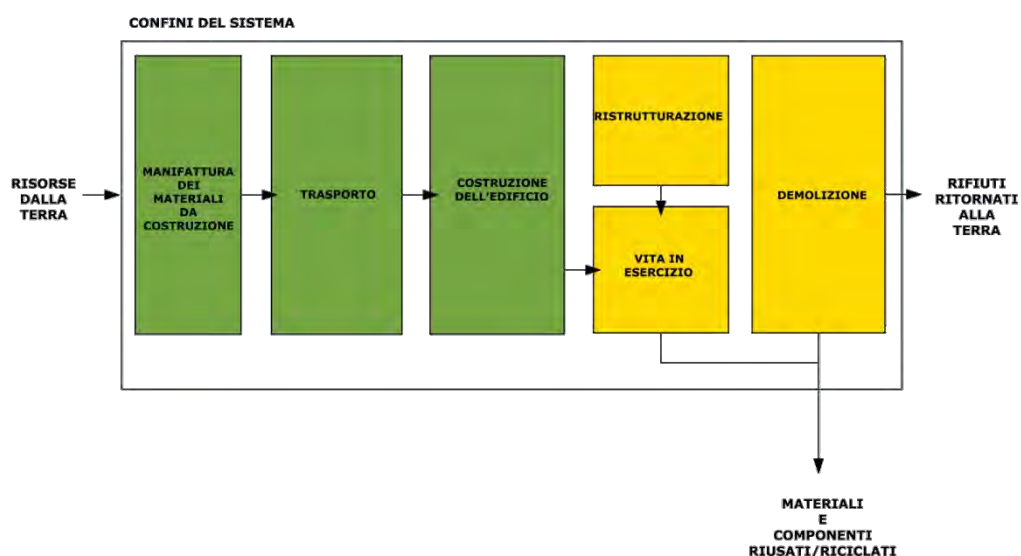
Fonte: *Steel Recycling Institute*

La dismissione rappresenta uno scenario comune al termine della vita utile del manufatto edilizio e solitamente, si conclude con il ritorno in natura dei materiali

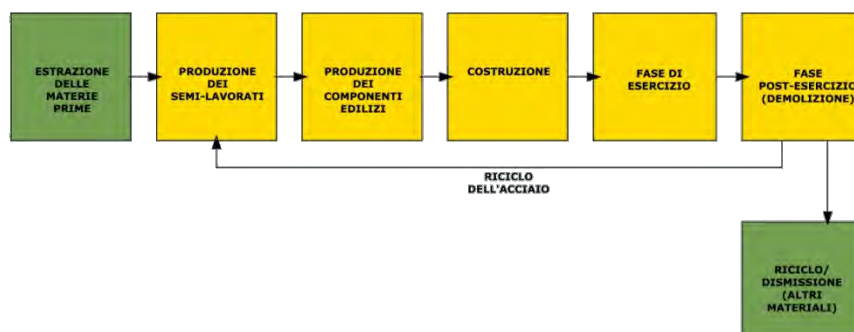
⁷⁶ Fonte dati: IISI

utilizzati sotto forma di rifiuti senza valore, se non quello relativo ai costi ambientali e quelli per il loro smaltimento (Fig.2.21-2.23). Per l'acciaio ciò non avviene grazie alle sue proprietà magnetiche che ne rendono semplice la separazione dagli altri rifiuti solidi. È stimato, infatti, che l'84% dell'acciaio contenuto negli edifici viene attualmente riciclato ed il 10% riusato⁷⁷, senza contare che la maggior parte dei prodotti in acciaio utilizzati in edilizia presenta all'origine un contenuto minimo del 28% di acciaio riciclato.

Ciclo di vita di un manufatto edilizio.



Schema semplificato del Ciclo di vita di un edificio in acciaio.

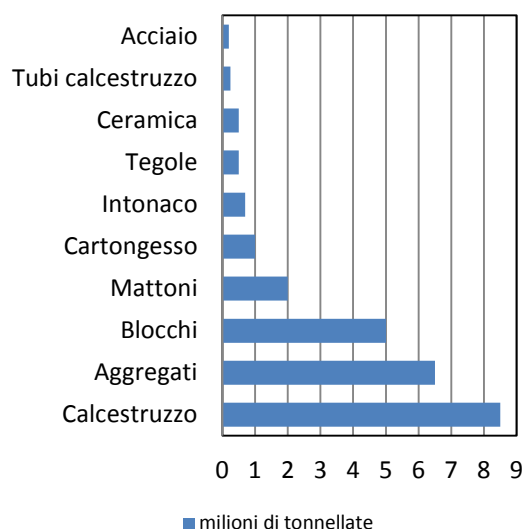


⁷⁷ Cfr.: www.steeluniversity.org

I prodotti in acciaio vengono generalmente prodotti in azienda su misura ed assemblati a secco in cantiere (ad eccezione delle barre di rinforzo per c.a.), producendo una quantità minima di scarti di produzione tutti riciclabili.

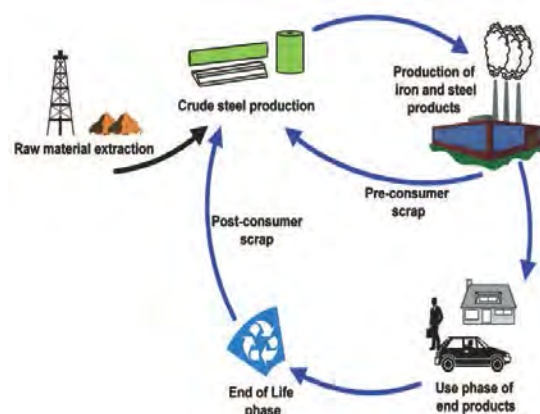
Nella catena produttiva dei prodotti in acciaio si crea un circolo virtuoso nel quale il prodotto riciclato diviene a sua volta nuova materia prima per un nuovo prodotto, i cui scarti di lavorazione saranno riciclati a loro volta.

Rifiuti di cantiere e di dismissione per i materiali da costruzione più diffusi.



Fonte: Corus 2006.

Ciclo di vita dei prodotti in acciaio.



Fonte: IISI

Un altro aspetto dell'eco-efficienza dell'uso dell'acciaio come materiale da costruzione riguarda la duplice possibilità di riutilizzare gli elementi strutturali, sia nelle loro funzioni originarie che come elementi base per la costruzione di strutture di differente destinazione d'uso, grazie alle sue proprietà di durevolezza e resistenza all'azione del tempo, generalmente, la vita utile degli elementi supera di gran lunga la vita di esercizio dell'edificio per il quale viene impiegato.

Questa operazione riveste una grossa rilevanza se si considera che il riutilizzo delle strutture, oltre a consentire un risparmio della materia prima impiegata, fornisce una netta riduzione dei costi energetici necessari alla lavorazione dell'elemento funzionale in questione.

Percentuali di riciclo-riuso per le principali categorie di prodotti in acciaio da costruzione.

	Profili strutturali	Arcarecci e travi	Rivestimenti	Lamiere grecate	Tondini per armature	Acciaio interno non strutturale
Riciclo (%)	86	89	79	79	81	85
Riuso (%)	13	10	15	6	1	2
Totale (%)	99	99	94	85	92	97

Fonte: Corus 2006

2.4.2 Progettazione integrata e costruzione semplificata

La progettazione di un edificio residenziale in *cold formed* presenta un'impostazione metodologica sostanzialmente differente da quella applicata nella pratica comune. Nel processo di progettazione tradizionale infatti le diverse figure professionali si susseguono in modo lineare e partecipano solamente ad una fase limitata dell'intero processo; talvolta alcune di esse sono costrette ad assumere un ruolo di consulenza "passiva", essendo chiamati in causa a progettazione definitiva conclusa. Questa procedura non si adatta all'*housing* in *cold formed*, perché inadeguata rispetto alle logiche produttive che vi sono alla base. Il processo di *design* di un alloggio in CFS richiede un approccio olistico alla progettazione, dal momento che sviluppatori e specialisti devono entrare in gioco nelle primissime fasi della progettazione generale. La produzione di elementi e componenti in CFS richiede infatti che determinati aspetti prestazionali vengano definiti in fase di progettazione di massima, al fine di ottimizzare la lavorazione del materiale e ridurre al minimo costose variazioni a produzione avanzata. A seconda del grado di prefabbricazione (aste, pannelli o moduli tridimensionali), la scelta di determinate dotazioni impiantistiche può addirittura precedere la definizione della geometria dei profili o condizionare le tecniche di montaggio in cantiere, per tale motivo, già nella fase di progettazione di massima interagiscono tutte le figure specialistiche concorrenti, secondo una prospettiva sistemica mirata all'intero ciclo di vita dell'edificio.

Matrice delle figure coinvolte nelle fasi di progettazione, costruzione e dismissione di un edificio in CFS.

FASI DEL PROCESSO	Investitore	Progettista	Strutturista	Impiantista	Interior designer	Esperto fin.
Progettazione di massima	X	X	X	X	X	X
Progettazione definitiva	X	X	X	X	X	X
Progettazione esecutiva		X	X	X	X	X
Costruzione	X	X				
Ristrutturazione/Cambio di destinazione d'uso		X	X		X	X
Dismissione	X	X				X

Fonte: Elaborazione dell'autore da SCI P260

L'uso di materiali di chiusura di derivazione prettamente industriale, con dimensioni e modalità di messa in opera pre-configurate (elementi con bordi ad incastro, componenti modulari, materiali pre-accoppiati, etc.), condiziona il lavoro del progettista, il quale è tenuto a conoscere, valutare e stabilire le modalità di messa in opera per ogni singola lavorazione, al fine di mantenere il controllo del risultato architettonico e della prestazione finale. Materiali e componenti, a differenti gradi di complessità e di prefabbricazione, diventano così parte processo di costruzione, coinvolgendo sempre più spesso le aziende produttrici nelle fasi decisionali del progetto.

La fase operativa è quella che differenzia maggiormente il cantiere di un edificio realizzato con i sistemi costruttivi in CFS dagli altri per velocità di esecuzione, per il basso livello di inquinamento del sito (acustico ed atmosferico), per la precisione geometrica delle opere realizzate, per la pulizia delle aree di lavoro nonché per la sicurezza dei lavoratori. La maggior parte dei materiali e dei sistemi è, inoltre, pronta all'uso e non necessita di interventi preparatori da parte dell'operatore; l'errato montaggio di un elemento/componente risulta quindi di facile individuazione fino alla posa in opera dello strato successivo, diversamente da quanto avviene nel caso di costruzioni realizzate mediante altre tecnologie (cassero e riempimento, blocco su blocco, carpenteria

pesante). La costruzione di un fabbricato in *cold formed*, infatti, avviene per assemblaggio a secco delle parti, trasferendo dal cantiere all'officina la maggior parte delle operazioni che venivano svolte in modo artigianale. Le operazioni di montaggio, fatta eccezione per le opere di fondazione (prevalentemente costituite da piastre o setti in c.a. gettato in opera, alle quali viene connessa la struttura di elevazione), non richiedono particolari competenze per la manodopera, se non l'uso delle apparecchiature di connessione. Nei Paesi in cui l'utilizzo dei sistemi costruttivi in CFS nell'*housing* è regolamentato da precise normative tecniche, è possibile adottare soluzioni standard fornite in "kit di montaggio" che è possibile auto-costruire in conformità al regolamento edilizio locale⁷⁸.

Esaminando la fase di cantiere dell'*housing in cold formed* nella sua totalità e complessità, si possono individuare i seguenti vantaggi rispetto ad altre tipologie costruttive:

- Minore dipendenza dalle condizioni del tempo: solai e pannelli di muro in CFS non necessitano di condizioni climatiche particolari per l'assemblaggio, diversamente da quanto accade nel caso di strutture posate in opera con malte cementizie o in cemento armato.
- Minore occupazione del suolo per lo stoccaggio dei materiali: i profili strutturali in CFS occupano poco spazio e sono semplici da impilare; pannelli e unità tridimensionali vengono di norma trasportati in cantiere direttamente per essere assemblati.
- Minore utilizzo di macchine da cantiere di grosse dimensioni: data la leggerezza delle strutture, le stesse possono essere movimentate in cantiere con l'impiego di mezzi leggeri.
- Maggiore livello di sicurezza: l'assemblaggio degli elementi che costituiscono pareti ed orizzontamenti viene eseguito di norma per semplice connessione delle parti precedentemente assemblate in

⁷⁸ Negli Stati Uniti è disponibile una guida tecnica per la costruzione di case fino a due piani (di dimensioni massime 11x18m con 3m di interpiano) redatta dal centro di ricerca del NAHB (National Association of Home Builders) dal titolo *Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing*. Le disposizioni tecniche contenute nel manuale sono state approvate dalla maggior parte dei regolamenti edilizi tra i quali l'IRC (International Residential Code) e sono mantenute in continuo aggiornamento.

stabilimento o in cantiere. La netta velocizzazione dei tempi e del numero di operazioni eseguite in quota determina un miglioramento delle condizioni di sicurezza degli addetti ai lavori.

- Maggiore affidabilità nella previsione dei tempi di costruzione: l'utilizzo di procedure di montaggio a secco, la produzione *off-site* e l'avanzata attività di logistica favoriscono il rispetto dei tempi previsti anche nel caso di interventi complessi.

Tralasciando i benefici di carattere ambientale connessi alla "leggerezza" del processo costruttivo, le sopracitate caratteristiche rendono economicamente molto competitivi i sistemi strutturali in acciaio formato a freddo rispetto ai sistemi tradizionali grazie ad un più veloce ritorno del capitale. La riduzione dei tempi di costruzione consente una più veloce occupazione dell'immobile e la possibilità per l'imprenditore di reinvestire prima il capitale .

Uno studio comparativo condotto in Inghilterra per valutare i benefici economici derivanti dall'uso dei sistemi *LSF (Light Steel Framing)* nel settore residenziale, ha evidenziato un risparmio del 33% sui tempi di costruzione (6 mesi CFS - 9 mesi mattoni) ed il raggiungimento di maggiori performance senza costi aggiuntivi⁷⁹.

2.5 DETTAGLIO COSTRUTTIVO E SCALABILITA' DELLE PERFORMANCE

La caratteristica tecnologica che differenzia il cantiere di un edificio realizzato con i sistemi costruttivi in CFS da un cantiere tradizionale, per velocità di esecuzione, livello di inquinamento del sito e precisione geometrica delle opere realizzate, è sicuramente la stratificazione degli elementi di involucro. Tale stratificazione viene realizzata mediante la connessione meccanica dei singoli elementi costruttivi che costituiscono il pacchetto di chiusura dell'edificio.

La costruzione degli elementi di partizione orizzontale e verticale avviene mediante assemblaggio a secco degli strati funzionali, prevalentemente prodotti sotto forma di lastre, pannelli e materiali di riempimento, secondo modalità progettuali ed operative denominate "Sistemi S/R

⁷⁹ Lo studio è stato condotto comparando un campione di alloggi in CFS con alloggi in brickwork, della stessa tipologia e dimensione. Per ulteriori informazioni cfr. *Building Design using Cold Formed Steel Sections – Value and Benefit Assessment of Light Steel Framing in Housing*, SCI Publication P260.

(Struttura/Rivestimento)". Nella pratica comune tali sistemi possono vantare una serie di benefici derivanti dall'impiego selettivo ed ottimizzato dei materiali che costituiscono l'organismo edilizio.

Nel caso delle strutture in CFS, i vantaggi dei sistemi S/R sono accresciuti dallo stretto rapporto che intercorre tra la concezione strutturale ed impiantistica dell'edificio ed i suoi elementi di chiusura e completamento; l'intercapedine che si viene a creare tra gli elementi portanti e quelli di placcaggio viene, infatti, comunemente utilizzata come "intercapedine polifunzionale" per l'aggiunta di materiali isolanti, per il passaggio degli impianti o per entrambi, così da ridurre lo spessore murario e da accrescere le prestazioni del pacchetto di completamento.

In questo tipo di costruzione "le reti impiantistiche costituiscono uno strato del pacchetto non intrusivo ma riconosciuto e pianificato"⁸⁰.

Le caratteristiche tecnologiche dei sistemi costruttivi in CFS e dei loro rivestimenti rendono l'iter progettuale particolarmente versatile, fin dalla fase di programmazione dell'intervento. Lo sviluppo del dettaglio costruttivo, quindi, assume un ruolo determinante nella definizione delle performance del sistema edificio-impianto-ambiente ed attraversa tutte le fasi di progettazione, costruzione, gestione e dismissione dell'organismo edilizio. Tali sistemi si prestano ad un approccio progettuale maggiormente orientato verso un'ottica "Lyfe Cycle", in quanto sistemi "aperti ed aggiornabili", cioè in grado di essere adattati ed implementati dal punto di vista morfologico e funzionale, oppure destinati ad uno scenario di "fine vita" diverso dal conferimento in discarica. La versatilità dei sistemi in CFS li rende, quindi, adatti a soddisfare la crescente domanda di organismi edilizi dal comportamento "smart", in grado di rispondere in maniera versatile e differenziata alle mutevoli esigenze della committenza e dell'ambiente. Tale scalabilità delle performance del processo edilizio è legata prevalentemente alla progettazione degli elementi di dettaglio e risulta essere il valore aggiunto dei sistemi in CFS.

⁸⁰ Zambelli E., Vanoncini P.A., Imperadori M., *Costruzione stratificata a secco*, Maggioli, Rimini 1998

2.6 LIVELLI PRESTAZIONALI E CONTROLLO DEI COSTI DI REALIZZAZIONE E GESTIONE

Le abitazioni che utilizzano membrane in *Cold Formed Steel* offrono livelli prestazionali competitivi rispetto ai sistemi costruttivi tradizionali, per quanto riguarda sicurezza, fruibilità, gestione, benessere, integrabilità e salvaguardia dell'ambiente.

L'acciaio è un materiale da costruzione resistente agli urti ed alle sollecitazioni, quindi affidabile. Le abitazioni in *Cold Formed* subiscono danni minori rispetto a quelle in legno o cemento nel caso di fenomeni sismici ed uragani, grazie alla loro leggerezza e alla natura delle connessioni; sono più sicure in caso di fulmini a terra, perché capaci di disperdere la scarica al sottosuolo; presentano anche un basso fattore di rischio di cedimenti, diversamente dalle strutture in muratura portante e cemento armato in cui tale pericolo è notevolmente maggiore. A riprova dell'affidabilità raggiunta da tali sistemi, si consideri che molte aziende produttrici di abitazioni volumetriche offrono all'utente finale una garanzia di 60 anni sulla vita utile del proprio prodotto, a differenza dei produttori di case in legno che normalmente garantiscono le loro abitazioni per un periodo compreso tra i 15 e 30 anni⁸¹.

Per quanto riguarda la fruibilità, le soluzioni progettuali che impiegano i profili sottili formati a freddo possono essere di volta in volta conformate con semplicità alle specifiche esigenze della committenza residenziale poiché tali profili possono essere prodotti in una vastissima gamma di geometrie piane e curve e dimensioni, per assecondare le più svariate esigenze progettuali. La versatilità delle macchine profilatrici infatti, consente di personalizzare elementi strutturali e di completamento a costi e tempi paragonabili a quelli di serie. Le tecniche di montaggio a secco inoltre assicurano la reversibilità delle operazioni di montaggio, consentendo il riuso sia dei componenti che di intere parti della casa al mutare delle esigenze della committenza. A differenza delle più convenzionali strutture in muratura e cemento armato, infatti, le case in cold formed possono essere addirittura smontate e rimontate altrove. La gestione

⁸¹ Si vedano ad esempio le unità tridimensionali in CFS della britannica Britspace (www.britspace.com) e le soluzioni abitative prefabbricate della Rubner Italia (www.haus.rubner.com/it/).

del manufatto in CFS è agevolata dall' elevata durabilità ed ispezionabilità delle strutture di elevazione. La zincatura ed i rivestimenti a base di resine protettive consentono, infatti, di ottenere ed incrementare la durabilità delle strutture in acciaio *Cold Formed*, tale caratteristica, unitamente ad una corretta progettazione degli elementi di dettaglio, assicura una durata delle strutture superiore a 60 anni, grazie anche al meticoloso controllo della qualità degli elementi effettuato in fase di produzione e lavorazione del materiale. In particolare le membrature in CFS in uso negli edifici residenziali sono solitamente provviste di uno strato protettivo di zinco superiore a 200gr/mq che conferisce all'acciaio una protezione duratura contro gli agenti atmosferici e gli attacchi biologici e permette di raggiungere una vita utile superiore a 200 anni senza necessità di rilevanti interventi manutentivi⁸².

Vita di progetto dei profili in acciaio zincato formato a freddo impiegati per la costruzione di edifici residenziali

Applicazione del prodotto	Condizioni ambientali	Vita di progetto/ misure di protezione
Pareti e piani per applicazioni in pareti ventilate	Assenza di rischio di entrata d'acqua o di condensa	>200 anni zincato G275*
Coperture (isolate)	Basso rischio di condensa	100 anni zincato G275
Coperture (non isolate)	Probabile rischio di condensa	60 anni zincato G275
Arcarecci ed elementi perimetrali dei sistemi di tamponamento	Basso rischio di condensa, un certo livello di polvere ed inquinamento	100 anni zincato G275
Pareti esterne piene in edifici intelaiaiati multipiano	Pareti ventilate e nessun rischio di infiltrazioni d'acqua	60 anni zincato G275
Sistemi intelaiaiati di sostegno ai tamponamenti	Basso rischio d'infiltrazioni d'acqua; qualche rischio di condensa	60 anni zincato G275

*G275 è riferito al peso del rivestimento usuale di zinco (275g/m²)

Fonte: *Durability of Light Steel Framing in Residential Building*, SCI P262, The Steel Construction Institute, 2006.

Anche il benessere termo-igrometrico rappresenta un requisito facilmente raggiungibile, grazie alla costruzione stratificata di partizioni e chiusure leggere e dallo spessore contenuto. I materiali isolanti, infatti, trovano sistemazione nelle

⁸² Recenti indagini condotte su di un complesso di residenze costruito negli USA oltre 40 anni fa hanno evidenziato l'assenza di corrosione sulle strutture portanti in CFS nonostante non fossero mai stati effettuati interventi manutentivi.

camere d'aria che si formano tra le membrature ed i materiali da rivestimento, occupando uno spazio tecnico che non sottrae metri quadrati all'alloggio. L'accuratezza dimensionale degli alloggiamenti per porte e finestre e la stabilità strutturale dell'acciaio consentono, in aggiunta, l'installazione e mantenimento di infissi a forte tenuta all'aria ed all'acqua. Test sperimentali condotti negli Usa hanno dimostrato che, dopo un anno di esercizio della costruzione, il livello di tenuta all'aria riscontrata in una casa in CFS risulta maggiore rispetto a quello misurato in una analoga casa in legno, diversamente dal risultato ottenuto a costruzione appena ultimata⁸³.

La riciclabilità degli elementi strutturali rappresenta, inoltre, senza ombra di dubbio la caratteristica che rende unica la famiglia dei *Cold Formed Steel* nel panorama dei sistemi costruttivi in uso nel settore residenziale. Anche la leggerezza delle abitazioni in CFS contribuisce in modo significativo alle esigenze di salvaguardia dell'ambiente e di abbattimento dei costi, una struttura realizzata in cold formed può pesare anche 10 volte in meno rispetto alla stessa struttura realizzata in cemento armato ed il 50% rispetto ad una in legno: ciò vuol dire risparmiare da 2 a 10 volte circa sui costi di trasporto dei materiali, sulla movimentazione in officina e in cantiere e durante la dismissione delle strutture⁸⁴.

In generale, le strutture in CFS presentano alti livelli prestazionali, anche per quanto riguarda la salvaguardia ambientale, su diversi fronti:

- Riutilizzabilità e/o adattabilità ad usi futuri: l'assemblaggio a secco consente la smontabilità delle strutture ed il loro riutilizzo in luogo diverso o per altra destinazione d'uso, allungandone il ciclo di vita.
- Riduzione nell'uso di materie prime ed energia: gli scarti dell'acciaio vengono completamente riciclati, l'acciaio stesso viene prodotto con un contenuto minimo del 28%⁸⁵ di rottami e si avvale di un processo produttivo che ha raggiunto ottimi livelli di eco-efficienza. La leggerezza delle strutture agevola le operazioni di movimentazione e trasporto dei

⁸³ Cfr.: 'Steel Vs. Wood – Cost and Short Term Energy Comparison –Valparaiso Demonstration Homes', NAHB Research Center, Inc, Upper Marlboro Maryland USA, gennaio 2001

⁸⁴ Cfr.: the Steel Construction Institute, SCI P260.

⁸⁵ Attualmente per i prodotti da costruzione il tasso si aggira intorno al 50% (fonte IISI 2011)

materiali in tutte le fasi del processo, consentendo un notevole risparmio di carburante.

- Risparmio di acqua: eccetto che per le fondazioni in cemento armato, l'uso di acqua è assente dalle operazioni di montaggio di una struttura in *Cold Formed Steel*.
- Basso impatto del cantiere sul sito: le lavorazioni a piè d'opera e le procedure di assemblaggio degli elementi in CFS producono un basso livello di inquinamento acustico e generano poche polveri e rifiuti da scarica, rispetto alle costruzioni in legno, cemento e muratura portante.

CAPITOLO III:

CASO APPLICATIVO: UN ALLOGGIO IN CFS PER LA REGIONE DI DAKAR

3.1. I CFS COME ALTERNATIVA ECO-TECNOLOGICA PER L'HOUSING A DAKAR

L'analisi dello stato di fatto sulla situazione abitativa nella regione di Dakar mette in luce uno scenario complesso caratterizzato dalla presenza di un parco edilizio che evidentemente non risulta adeguato né per livello quantitativo che per caratteristiche qualitative a soddisfare in modo adeguato alle esigenze della popolazione residente. Il trend della domanda sia nel breve che nel lungo periodo, inoltre, pone inoltre l'attenzione sulla necessità di ammodernamento del settore delle costruzioni dovuta all'esigenza di migliorare l'attuale livello produttivo attraverso una necessaria evoluzione delle attuali tecniche costruttive. Dati i presupposti, appare evidente che tale processo di rinnovamento debba avvenire attraverso l'adozione di scelte tecnologiche "appropriate", capaci cioè di produrre una risposta valida sia sul piano del mercato di riferimento (fattibili economicamente), ma soprattutto che tengano in debito conto le ripercussioni sul sistema uomo-edificio-natura, per garantire una sostenibilità a livello generale delle strategie adottate.

Risulta chiaro che nell'affrontare la messa in campo di opzioni alternative all'attuale stato di fatto, non si possa prescindere dal valutarne a priori i possibili impatti secondo gli attuali strumenti multi-criterio capaci di restituire uno scenario futuro quanto più correttamente determinato. Sebbene tali strumenti afferiscano *tout court* ad altri settori disciplinari, per quanto attiene alla tecnologia dell'architettura è tuttavia possibile affermare che un valido approccio per la corretta valutazione di quelli che possono essere i benefici derivanti dall'adozione di sistema costruttivo rispetto ad un suo *competitor*, possa essere quello esaminare comparativamente i parametri sull'eco-efficienza di tali tecnologie, in linea con quelli che sono gli orientamenti sulla riduzione degli impatti sull'uomo e l'ambiente ad ogni livello dell'attività antropica.

Dall'analisi del contesto Regionale⁸⁶, risulta evidente come, dal punto di vista normativo e di mercato, il perseguimento di determinati obiettivi di eco-compatibilità non rivesta ancora un ruolo di primaria importanza, essendo presumibilmente di altra natura le problematiche a priorità più elevata. D'altro canto il mondo della ricerca e gli orientamenti istituzionali a medio e lungo termine guardano alla tematica dell'efficienza energetica e dell'innovazione tecnologica "green" come un importante driver per l'ammodernamento ed il miglioramento dello standard qualitativo nel settore dell'Housing.

3.2. IL PROGETTO DI UN'ABITAZIONE IN COLD FORMED

3.2.1. Metodologia e fasi dello sviluppo del modello di studio

Il caso applicativo si propone di esaminare sotto il profilo tecnologico-costruttivo le caratteristiche di un edificio residenziale realizzato con ossatura portante in CFS, studiandone i principali fattori inerenti la produzione e la cantierabilità delle soluzioni tecniche proposte per il contesto di riferimento. In questa sede, in particolare, si pone l'attenzione sulla disamina degli aspetti legati alle caratteristiche di eco-efficienza legate al ciclo di vita, velocità di realizzazione, economicità e riciclabilità del sistema strutturale, escludendo una trattazione specifica sugli aspetti di calcolo, per la quale si rendono necessari ulteriori approfondimenti ricadenti in settori disciplinari non di interesse specifico per il presente lavoro di ricerca.

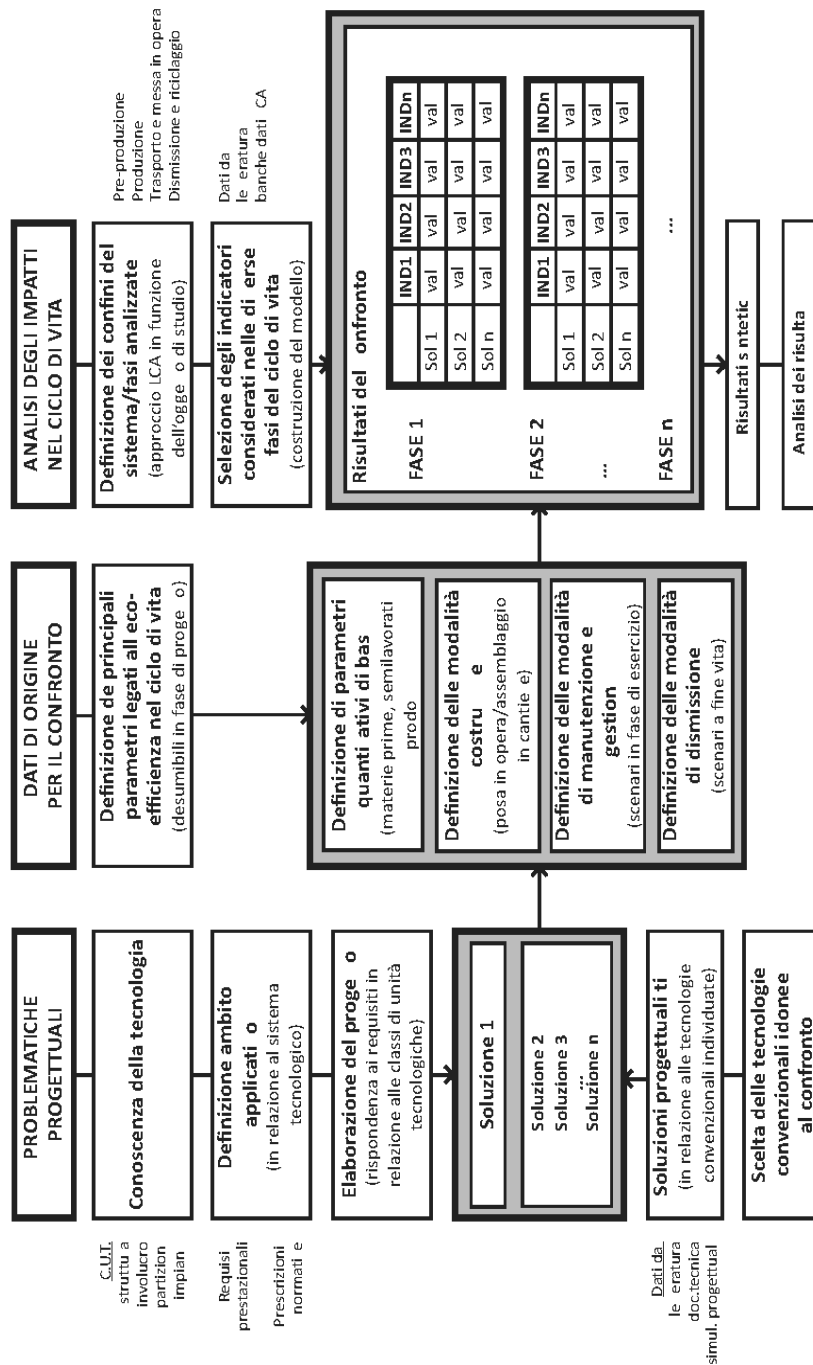
L'iter progettuale del processo di realizzazione del prototipo si è svolto schematicamente attraverso le seguenti fasi:

- Studio sullo stato dell'arte degli elementi strutturali in CFS per l'housing
- Analisi delle questioni relative all'eco-efficienza della produzione industriale degli elementi in CFS
- Definizione dei requisiti connotanti di progetto per il contesto
Elaborazione del prototipo
- Definizione dei parametri quantitativi, delle modalità costruttive e dello scenario di fine vita
- Scelta della tecnologia convenzionale per il confronto

⁸⁶ Cfr. Cap. I

- Confronto su base analisi LCA
- Confronto e analisi dei risultati
-

Organigramma delle fasi di sviluppo del caso applicativo



3.2.2. Problematiche progettuali e definizione dei requisiti

Gli aspetti innovativi che caratterizzano i sistemi costruttivi in CFS (cfr. Cap. II par. 2.4), riguardano un uso più efficiente delle risorse materiali ed energetiche, soprattutto grazie alle condizioni di producibilità su scala industriale degli elementi, e le innovazioni “green” ottenute dalla filiera produttiva dell’industria dell’acciaio. Per tale motivo essi possono essere in prima analisi individuati quali candidati eco-efficienti all’impiego nel contesto preso in esame.

Trattandosi di tecnologie di derivazione industrializzata, grande importanza riveste, all’interno del quadro generale del processo edilizio, la fase di analisi.

Un’analisi accurata e ben ragionata permette infatti di individuare esigenze, programmare delle risposte adeguate in termini di requisiti tecnologici e ambientali, e gestire correttamente la vita del futuro organismo edilizio fin dalla fase di produzione ottimizzando l’impiego delle risorse in tutte le fasi del processo edilizio.

La richiesta di mercato emersa dall’analisi della domanda (cfr. Cap. I par. 1.3-1.4) è costituita da abitazioni unifamiliari e bifamiliari ad 1 o due piani, realizzate in cemento armato.

Lo standard costruttivo prevede la realizzazione di involucri in muratura di mattoni di cemento costituite da stratigrafie elementari (intonaco-muratura-intonaco) senza l’impiego materiali in grado di assicurare livelli adeguati di coibenza, e dunque non in grado di assicurare condizioni di benessere termigrometrico e/o il controllo dei costi di gestione dell’edificio. Tale condizione determina un uso poco efficiente delle risorse disponibili ed aggrava le condizioni generali di disagio abitativo degli abitanti della Regione.

L’impiego delle tecnologie tradizionali fornisce inoltre scarsi risultati anche dal punto di vista della sicurezza strutturale e della durabilità delle strutture. Si evidenzia infatti che lo sfruttamento intensivo della sabbia (non trattata) come inerte, porta a scarse prestazioni dei mix utilizzati per l’impiego delle tecniche ad umido impiegate, oltre a contribuire all’erosione delle coste da cui il materiale viene prelevato. Come si vedrà di seguito, sono inoltre richieste molte risorse in termini energetici per la produzione e l’uso e lo smaltimento delle abitazioni prodotte secondo l’impiego delle tecnologie convenzionali.

Le innovazioni sia di prodotto che di processo raggiunti nell'ambito dei sistemi costruttivi in CFS non sempre possono ottimizzare contemporaneamente sia l'impiego di risorse sia economiche che ambientali quando non correttamente calibrate rispetto alle caratteristiche del settore delle costruzioni locale.

In base alle condizioni del sito, diverranno di volta in volta determinanti ad esempio:

- La scelta delle fasi produttive da effettuare in opera o fuori opera (profilatura delle sezioni in cantiere o in officina,
- La definizione dei limiti dimensionali degli elementi in base alle condizioni di trasportabilità,
- La scelta del passo strutturale, degli elementi di connessione, etc.
- La scelta del materiale più idoneo (qualità dell'acciaio della lega metallica e grado di protezione)
- La possibilità di utilizzare sezioni dalla geometria più o meno complessa

Occorrerà quindi un approccio consapevole al loro impiego in fase di programmazione e progettazione dell'intervento, al fine di definire congruentemente alle esigenze dell'utenza un set di requisiti atti ad ottenere un risultati soddisfacenti dal punto di vista dell'efficienza complessiva del processo costruttivo.

Nel ventaglio delle opzioni tecniche disponibili nel campo delle strumentazioni con le quali si effettuano i processi di formatura, punzonatura, taglio e connessione delle sezioni in CFS⁸⁷, sia in officina che in cantiere, l'impiego di apparecchiature e/o utensili più o meno tecnologicamente avanzati incide, in larga misura, sul miglioramento delle condizioni di lavoro degli operatori e/o sulla produttività, ovvero su fattori che riguardano principalmente l'efficienza del processo costruttivo (ed in ultima analisi il costo di produzione). Dal punto di vista qualitativo dell'opera, il risultato finale è determinato essenzialmente dalla correttezza di impostazione del problema, ovvero alla corrispondenza tra

⁸⁷ Per approfondimenti cfr. Cap II, par. 2.3

esigenze dell'utenza e prestazioni dell'organismo edilizio definite in fase di metaprogetto⁸⁸.

3.2.3. Elaborazione del "prototipo virtuale"

Ai fini del confronto tra la tecnologia in CFS e quella in c.a. la ricerca si propone la realizzazione di un "prototipo virtuale" di un edificio bifamiliare realizzato rispettivamente con i due differenti sistemi costruttivi.

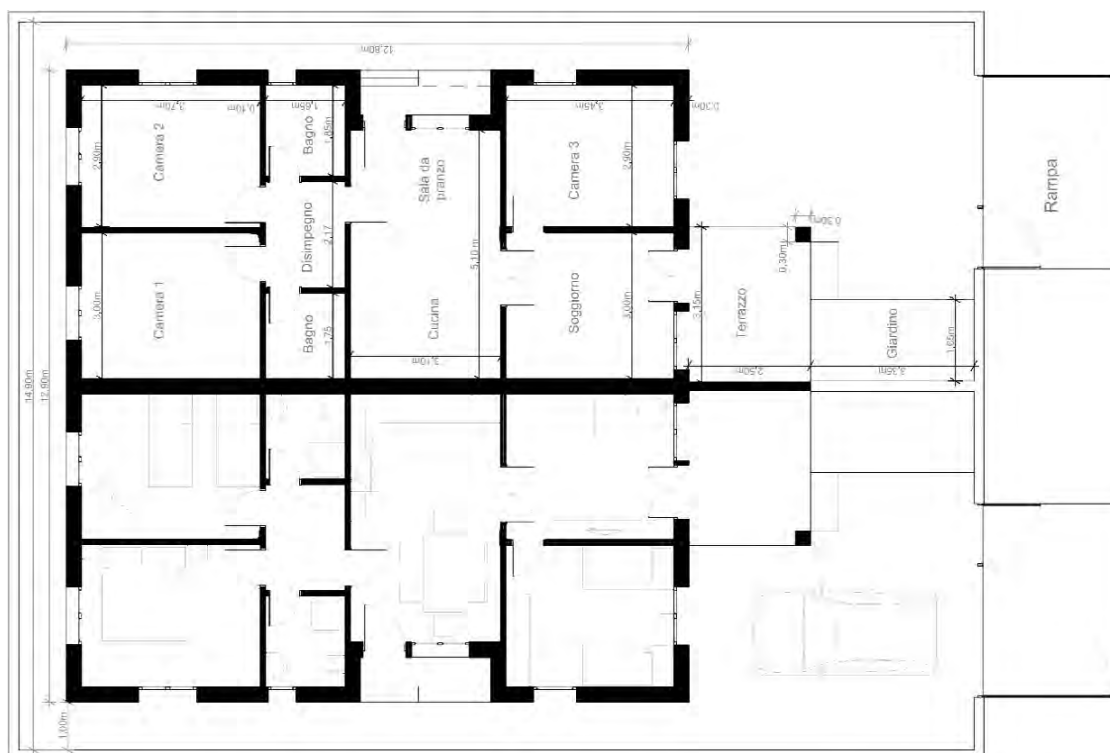
Lo scopo dello studio è quello di effettuare una valutazione delle performance dei CFS in relazione ad un possibile impiego come sistema costruttivo eco-efficiente alternativo a quello maggiormente diffuso nella Regione di Dakar.

La comparazione verrà effettuata dunque limitatamente all'ossatura dell'edificio, ritenendo che le unità tecnologiche di completamento possano essere essenzialmente non discriminanti ai fini della valutazione delle caratteristiche di eco-efficienza del sistema costruttivo adottato, in quanto indifferentemente interscambiabili tra i due.

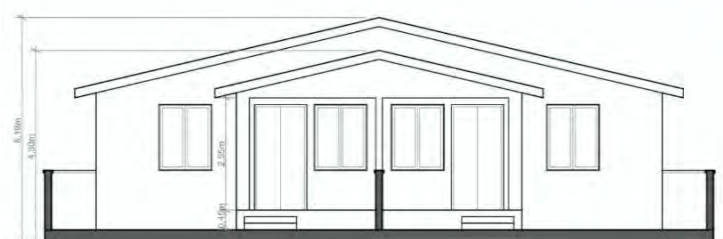
Per definire le condizioni a contorno in maniera quanto più assimilabili a quelle specifiche del contesto di riferimento, oltre che per una più efficace analisi sulle potenzialità di inserimento nel mercato, il progetto architettonico ha tenuto conto della domanda abitativa, sia per caratteri tipo-morfologici che per caratteristiche dimensionali.

⁸⁸ *Atteso che le lavorazioni vengano eseguite secondo la "regola d'arte", oltre che conformemente alle indicazioni del fabbricante e nel rispetto della normativa vigente.*

Abitazione bifamiliare in CFS per la regione di Dakar. Planimetria generale.

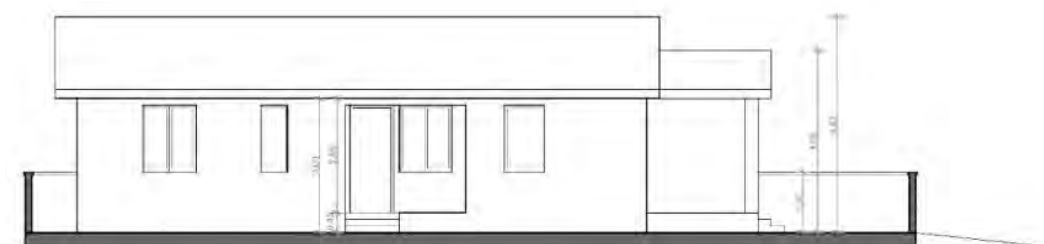


Abitazione bifamiliare in CFS per la regione di Dakar. Prospetti.



DATI DIMENSIONALI

N. DI VANI	4 + S
SUP. LORDA	90mq
SUP. UTILE	85mq
VOL. LORDO	315mc
VOL. UTILE	300mc
DIM. IN PIANTA	12,9m X12,9m
DIM. ALZATO	5,1m



Stabiliti i limiti dell'ambito di studio, per procedere al confronto si è proceduto con lo stabilire dei parametri dimensionali di base che consentissero di restituire due organismi edilizi analoghi, che differissero solo nelle soluzioni tecniche adottate. Il predimensionamento degli elementi strutturali, per ciascuna delle

soluzioni proposte, è stato effettuato conformemente alle indicazioni della manualistica di riferimento per entrambe i sistemi⁸⁹.

Per sfruttare nel miglior modo le caratteristiche della tecnologia dei CFS nella realizzazione di edifici residenziali, si è partiti da una concezione strutturale completamente diversa da quella del tradizionale cemento armato, trattandosi di costruzioni essenzialmente simili per tecniche di posa e per concezione strutturale a quelle in legno⁹⁰ realizzate a pareti portanti.

3.3. DESCRIZIONE DEL SISTEMA COSTRUTTIVO

3.3.1. Definizioni ed elementi costitutivi

Il prototipo in CFS è formato da elementi modulari, piani e tridimensionali, in acciaio formato a freddo. L'ossatura portante è realizzata mediante l'impiego di elementi in acciaio formati a freddo ottenuti da nastri in acciaio zincato mediante processo di profilatura in continuo⁹¹.

L'edificio poggia su di una fondazione continua costituita da una platea di c.a., che funge contemporaneamente da solaio di terra. La struttura di elevazione è costituita da unità volumetriche e pareti portanti, sulle quali poggia una copertura a due falde.

La disposizione planimetrica è articolata intorno alle aree che richiedono un alto livello di dotazione impiantistica, le quali sono state progettate, allo scopo di velocizzare i tempi di cantiere, all'interno dei moduli tridimensionali autoportanti, disposti con il lato maggiore ortogonale all'orditura dei pannelli orizzontali (vedi schema planimetrico in basso). Per esprimere al meglio le potenzialità compositive offerte dalla configurazione spaziale degli elementi volumetrici (moduli tridimensionali), tutti gli elementi della composizione sono stati dimensionati in modo tale da rendere modulare, secondo le due direzioni

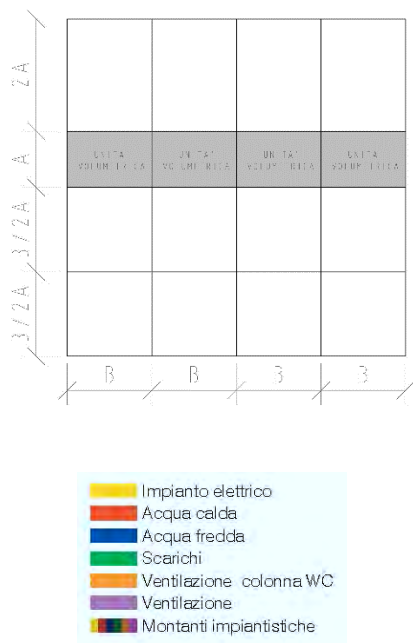
⁸⁹ Per il dimensionamento della struttura in c.a si è fatto riferimento al "Prontuario dell'Ingegnere", a cura di A. Guadagni, Hoepli editore, Milano 2010. Per il dimensionamento della struttura in CFS si è fatto riferimento al manuale "The Lightweight Steel Frame House Construction Handbook", CSSBI 59-05, CSSBI, 2005.

⁹⁰ Le costruzioni in Light Steel Framing costituiscono l'evoluzione delle costruzioni ad aste in legno, largamente diffuse nei Paesi che provengono da tale cultura tecnologica, sviluppatesi per sopperire alle problematiche relative alla stabilità dimensionale e alla scarsa resistenza agli agenti organici proprie del legno.

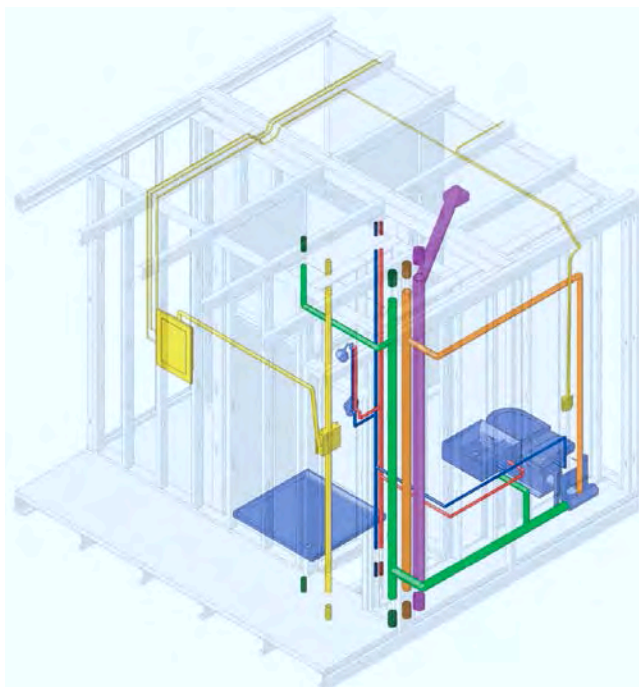
⁹¹ Per consultare le specifiche tecnico dimensionali si veda l'Abaco degli Elementi in Appendice.

ortogonali, l'eventuale aggregazione di elementi pre-assemblati di dimensione standard.

Schema planimetrico.
Posizione unità volumetriche



Unità volumetriche. Esempio installazione impianti.



Un sistema costruttivo così configurato può essere definito 'Semi-Volumetrico' perché fa uso di unità volumetriche in combinazione ad elementi discreti. Diversamente dal canonico sistema volumetrico, quello proposto consente di ottenere costruzioni veloci quasi come quelle volumetriche con aggiunta della flessibilità progettuale propria delle costruzioni ad aste, perché svincolato da rigidi schemi aggregativi.

La scelta di utilizzare tale tipo di configurazione deriva dall'intenzione di migliorare lo standard qualitativo generale, spostando in officina le operazioni che richiedono manodopera specializzata, e lasciando in cantiere le opere a basso livello di complessità al fine di poter impiegare manodopera locale. Fatta eccezione per gli elementi di fissaggio con la fondazione e la parte restante della struttura di elevazione, le unità volumetriche possono essere consegnate in cantiere complete di impianto idrico, impianto elettrico, infissi e rivestimenti di finitura, ovvero pronte all'uso. E' possibile inoltre ottimizzare le fasi realizzative successive predisponendo l'arrivo delle montanti ed il montaggio di collettori

termo-idraulici e quadri di distribuzione elettrica nelle pareti e nei solai dell'unità, lasciando tubi di attesa per il collegamento ai dispositivi presenti nel resto dell'alloggio⁹².

La scelta di impiegare il sistema ad elementi discreti per le strutture di elevazione può essere integrata, nel caso di realizzazioni su larga scala caratterizzate dalla presenza di elementi tipologici ripetuti, con l'opportunità di impiego di pannelli modulari assemblati off-site e trasportati in cantiere, oppure in a piè d'opera organizzando in loco una piccola catena di montaggio.

E' sicuramente possibile considerare l'uso di un maggior numero di componenti pre-assemblati. Tale eventualità può essere appropriatamente valutata in seguito ad una puntuale analisi dei dati rilevabili attraverso una sperimentazione sul posto volta alla determinazione dei livelli di fattibilità determinati dal settore delle costruzioni locale. Il livello di prefabbricazione raggiungibile con i CFS è del tutto scalabile rispetto al contesto di applicazione, data la flessibilità del processo produttivo degli elementi e del processo di programmazione e progettazione.

3.3.2. Caratteristiche costruttive

Moduli tridimensionali

I moduli bagno sono stati progettati come strutture tridimensionali portanti in acciaio zincato formato a freddo composte da un telaio di 4 colonne portanti collegate da un sistema di travi di bordo, a loro volta rese solidali mediante bullonatura. Il loro assemblaggio, nella configurazione presa in esame, viene realizzato in officina allo scopo di velocizzare i tempi di assemblaggio in cantiere, ridurre gli scarti e migliorare il livello qualitativo delle componenti impiantistiche con un ridotto impiego di manodopera specializzata.

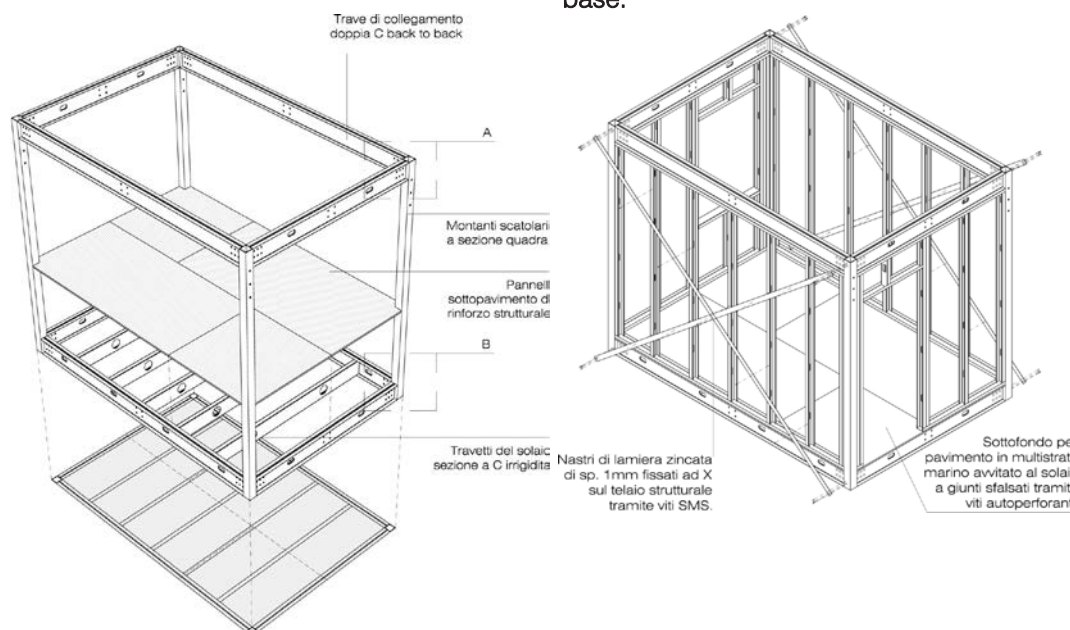
La controventatura del telaio è assicurata tramite nastri di lamiera zincata, posizionati ad X (*x-bracing*) sulle pareti di taglio cieche, di larghezza 60mm e

⁹² Data la peculiarità del contesto geografico di riferimento, il tipo e la quantità di predisposizioni da realizzare, ovvero il grado di prefabbricazione, costituiscono una possibilità il cui rapporto costo/benefici va valutato caso per caso in relazione alle specifiche condizioni del cantiere e alle specifiche di progetto.

spessore 1mm, connessi tramite viti SMS⁹³ ai quattro estremi dei pilastri d'angolo e ad ogni punto di contatto con le pareti perimetrali⁹⁴.

Unità volumetrica: esploso prospettico.

Unità volumetrica: schema strutturale di base.



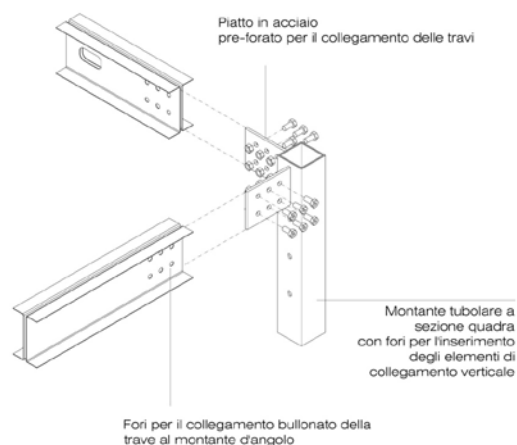
I montanti del telaio sono costituiti da tubi saldati in acciaio zincato a sezione quadrata, di spessore 6mm ed altezza 3050mm (*abaco*, E.1)⁹⁵. Le travi di collegamento sono delle sezioni ad I (*abaco*, E.2) composte dall'accoppiamento *back to back* di due profili semplici a C (*abaco*, E.3). I travetti sono costituiti da profili a C irrigidita (E.4) collegati alle travi mediante viti SMS in acciaio zincato applicate nei punti di contatto con l'ala superiore ed inferiore delle travi.

⁹³ Vengono impiegate viti a testa ribassata (*flat head*) per non creare problemi di accoppiamento con i pannelli di rivestimento.

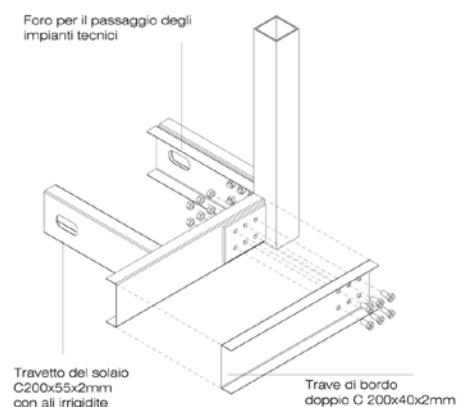
⁹⁴ I nastri necessitano di essere mantenuti in tensione durante l'operazione di fissaggio.

⁹⁵ Cfr. l'*abaco* degli elementi con le specifiche tecnico-dimensionali in Appendice.

Nodo di collegamento superiore



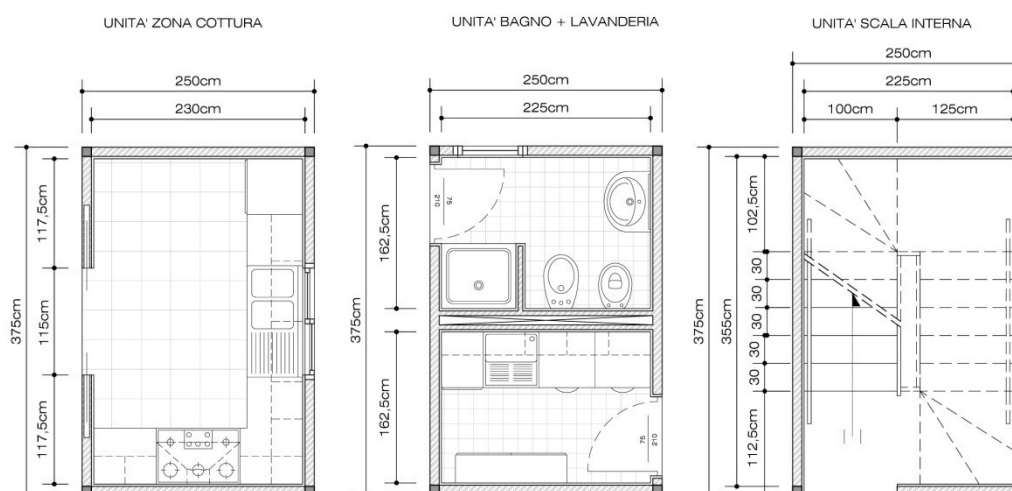
Nodo di collegamento inferiore



Il collegamento delle travi di bordo ai montanti avviene mediante dei piatti di collegamento (*abaco*, E.5) saldati agli scatolari e connessi all'anima delle travi da 6 bulloni in acciaio. Le travi di bordo ed i travetti sono dotati di fori per il passaggio degli impianti tecnici. Tali fori (100x40mm) sono posizionati al centro dell'altezza del profilo ad interasse maggiore di 600mm, per non diminuire la capacità portante della sezione.

A titolo esemplificativo della flessibilità progettuale ottenibile con l'impiego di unità volumetriche pre-assemblate, si riportano alcuni esempi di distribuzioni planimetriche alternative, tutte realizzabili senza modifica della maglia strutturale dell'edificio.

Distribuzioni planimetriche alternative



Alla fine del ciclo di vita, oppure al mutare delle esigenze, è teoricamente possibile “de-costruire” l'edificio percorrendo a ritroso il processo di

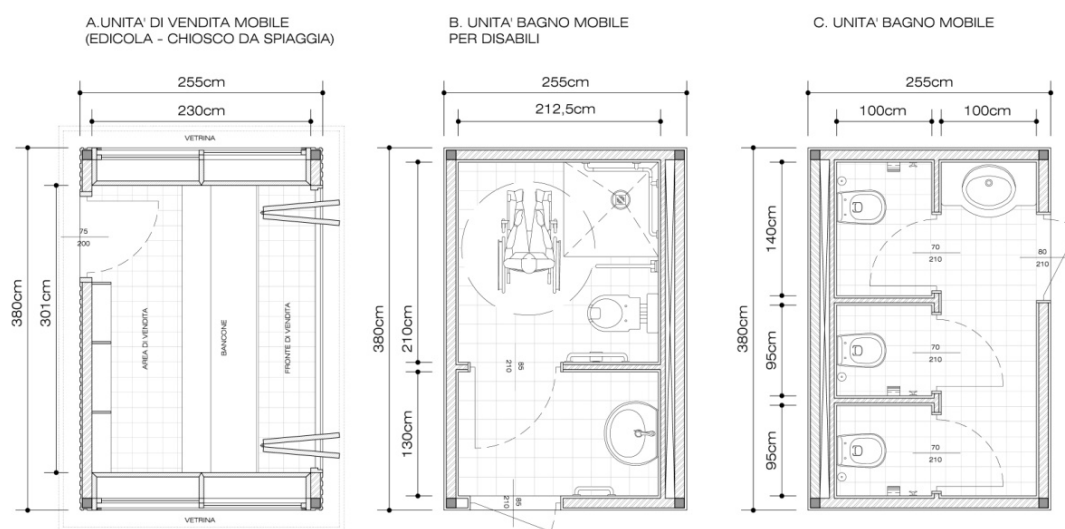
assemblaggio, allo scopo di utilizzarne alcune o tutte le parti in un nuovo fabbricato, residenziale o di altro tipo, essendo la durata teorica degli elementi in acciaio utilizzato pari ad almeno 100 anni⁹⁶

Ai fini di uno scenario che ne preveda il riutilizzo, le unità volumetriche contenenti elementi impiantistici e di finitura possono essere facilmente ricondizionate⁹⁷ in officina, per essere reimpiegate nella loro configurazione iniziale oppure possono svolgere funzioni completamente differenti, una volta riattrezzate.

Un esempio potrebbe essere il loro impiego come moduli bagno mobili (figg. B/C) da impiegare in situazioni emergenziali o temporanee (fiere, eventi di massa, cantieri etc.) o per citarne altri, come box di vendita amovibili per mercatini rionali, chioschi da spiaggia (fig. A), edicole (fig. A) ed altre forme di allestimento temporaneo in genere.

Particolarmente vantaggioso, inoltre, potrebbe risultare il loro impiego come elementi di completamento di edifici esistenti (aggiunta di un nuovo piano, di scale esterne o di bagni) oppure come unità modulari da impiegare nella costruzione di alloggi per studenti (fig. D).

Esempi di riutilizzo delle unità volumetriche in configurazioni variate.



⁹⁶ Cfr. *Building Design Using Cold Formed Steel Sections – Construction Detailing and Practise*, SCI P165, The Steel Construction Institute 2006.

⁹⁷ La commercializzazione di oggetti ricondizionati attualmente rappresenta un settore di mercato in crescita soprattutto nell'ambito delle apparecchiature elettroniche e dei beni di consumo, incentivata dagli elevati costi di smaltimento dei prodotti hi-tech.

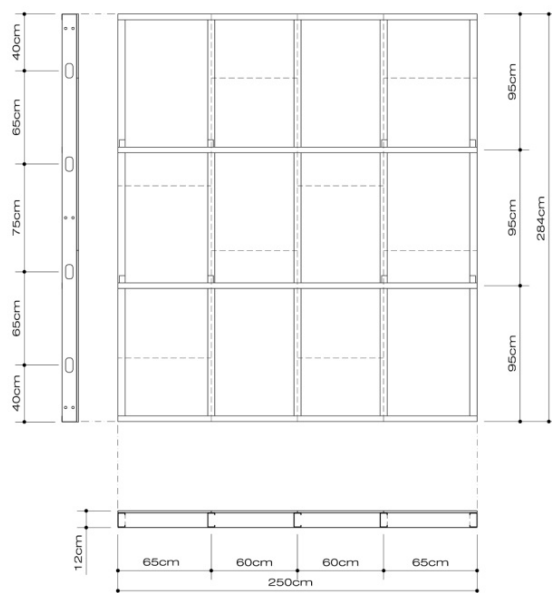
Pareti

Le pareti portanti sono elementi piani il cui telaio è costituito da montanti con sezione a C irrigidita (*abaco*, E.6) e guide di sezione ad U (*abaco*, E.7). Nell'anima dei montanti sono presenti fori da 50x100 mm per il passaggio degli impianti tecnici.

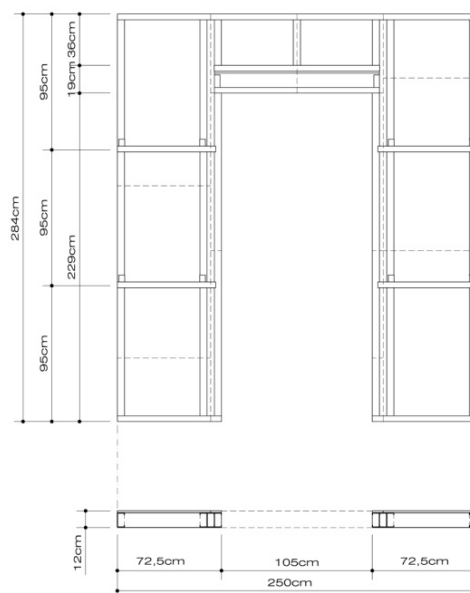
Alla faccia esterna del *frame* viene applicato un placcaggio generalmente costituito da lastre in cemento fibro-rinforzato, avvitato tramite viti autofilettanti-autoperforanti ad interasse di 150mm lungo i bordi della lastra e di 300mm al suo interno. Tali lastre di rivestimento strutturale costituiscono il sistema di controventamento del telaio per questo tipo di soluzione strutturale adottata.

Pareti portanti: orditura e dettagli costruttivi

Parete cieca

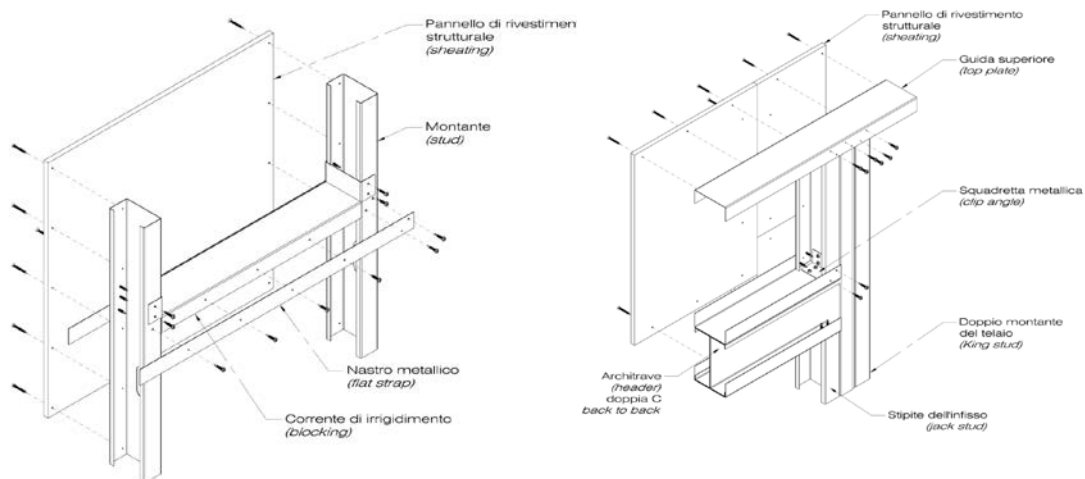


Parete con apertura



Dettaglio: Elementi di irrigidimento intermedio

Dettaglio: Architrave



Ad 1/3 e 2/3 dell'altezza del telaio sono presenti degli elementi di rinforzo orizzontali, atti a conferire una maggior rigidità torsionale ai montanti. I rinforzi sono costituiti da un coppia di correnti di irrigidimento (*blockings*) appositamente sagomati e dimensionati per connettersi ai montanti laterali ed una coppia di nastri di lamiera (*flat straps*) fissati in posizione trasversale su ogni montante e sui *blockings* tramite viti SMS.

L'apertura di un architrave (*header*) (E.8) costituita da una coppia di profili a C accoppiati *back to back* per sopperire all'azione portante dei montanti soppressi. Il rinforzo degli appoggi è stato effettuato mediante il raddoppio del montante del telaio principale (*king stud*), al quale fine collegato a spalla lo stipite dell'infisso (*jack studs*).

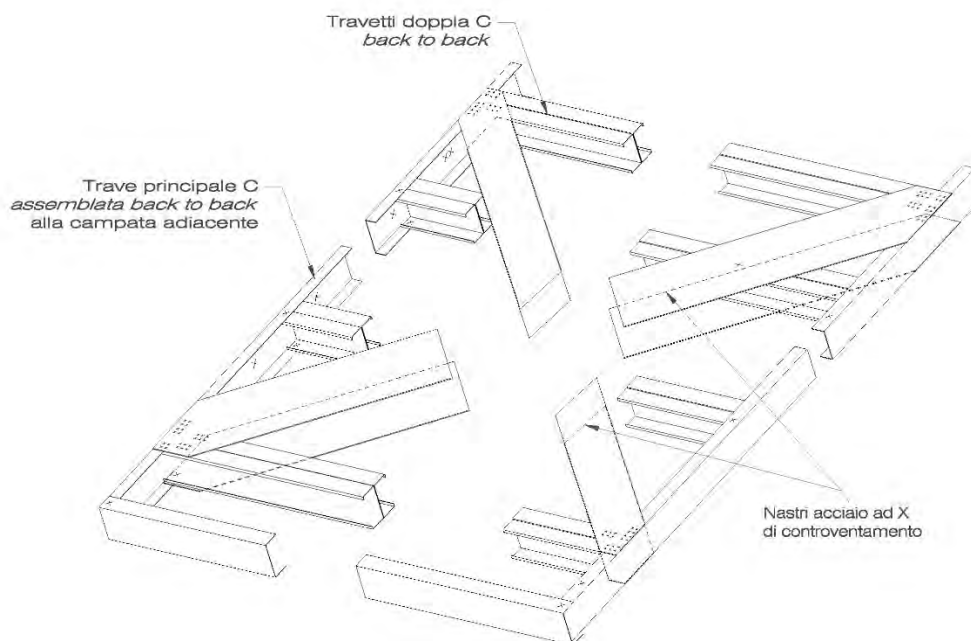
La realizzazione dei tramezzi è del tutto analoga a quella delle pareti portanti. Si differenziano dai primi per lo spessore dei profili e, non essendo soggetti a carichi assiali, per l'assenza degli elementi di irrigidimento intermedi.

Copertura

La copertura a doppia falda è costituita da un solaio inclinato costituito da un orditura semplice di travetti portanti (*joists*) collegati agli estremi da una coppia di canali di chiusura (*tracks o closure channels*) collegati alle estremità delle pareti portanti mediante piastre bullonate.

L'irrigidimento dell'impalcato sul piano orizzontale è realizzato con nastri d'acciaio fissati ad ogni campata secondo lo schema ad X utilizzato per le pareti portanti. Tale metodo viene generalmente realizzato in opera e richiede il pretensionamento dei nastri. In alternativa, come per le pareti, l'azione dei nastri può essere integrata e/o sostituita dall'utilizzo come rivestimento di una pannellatura che svolga anche funzione strutturale (generalmente multistrato o OSB da 18mm).

Copertura: esploso assonometrico



L'orditura dei travetti è dimensionata secondo lo stesso interasse intercorrente tra i montanti delle pareti per un migliore trasferimento dei carichi provenienti dalle strutture sovrastanti.

Elementi di completamento

L'ossatura del prototipo in esame è stata progettata secondo un approccio “*all steel*”, dunque resistente ai carichi di progetto a prescindere dagli elementi di completamento applicati. Per tale motivo si è fatto uso di strutture di controventamento in acciaio. Questo per rendere maggiormente confrontabile il sistema costruttivo adottato con il corrispettivo prototipo in cemento armato. Nella prassi si preferisce affidare tale azione strutturale alle stesse pannellature impiegate come elementi di chiusura, comunque necessarie alla definizione dei pacchetti di involucro. Per completezza di trattazione se ne fa comunque un breve cenno qui di seguito.

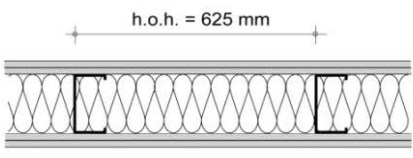
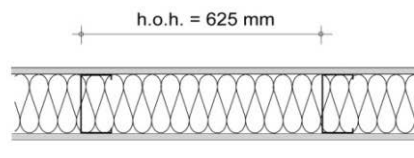
Il rivestimento (*sheeting*) assolve principalmente la duplice funzione di resistenza al fuoco e resistenza meccanica⁹⁸.

Su pannelli e moduli tridimensionali si preferisce applicare i pannelli di rivestimento direttamente in officina per velocizzare le attività di cantiere, in tal caso gli elementi pre-assemblati vanno coperti durante il trasporto con un telo

⁹⁸ Le lastre contribuiscono a migliorare il comportamento strutturale dei profili dal punto di vista dei fenomeni di instabilità locale.

protettivo e trattati con cautela durante l'assemblaggio per non danneggiare i bordi e la tenuta delle connessioni dei fogli applicati. In commercio sono reperibili pannelli di rivestimento di differenti materiali a seconda della funzione da assolvere, di spessore variabile, larghezza e altezza proporzionali alle più comuni spazature strutturali per pareti e solai⁹⁹.

Prestazioni di resistenza al fuoco delle pacchetti in CFS al variare del tipo di rivestimento.

					so: h.o.h. = spazatura strutturale; Rinoflam= lastra in gesso fibro rinforzato della GYPROC (NL)	
	Rivestimento sui due lati	Isolante sp. [mm] massa [kg/m³]	Rivestimento sui due lati	Isolante sp. [mm] massa [kg/m³]		
30 min.	2 x 12,5 mm cartongesso	non presente	2 x 12,5 mm GKF, DIN 4102	40 30		
	10 + 12,5 mm fibrogesso	non presente	12,5 mm cartongesso	non presente		
	20 mm Rinoflam	non presente	12,5 mm fibrogesso	40 20		
60 min.	2 x 15 mm fibrogesso	non presente	2 x 12,5 mm GKF, DIN 4102	40 40		
	2 x 15 mm Rinoflam	non presente	25 mm cartongesso	40 40		
90 min.	2 x 25 mm cartongesso	non presente	2 x 12,5 mm cartongesso	40 100		
	2 x 20 mm Rinoflam	non presente	2 x 12,5 mm fibrogesso	50 50		
	3 x 12,5 mm fibrogesso	non presente	25 mm cartongesso	60 50		
			h.o.h. = 313 mm 20 mm Rinoflam	100 40		

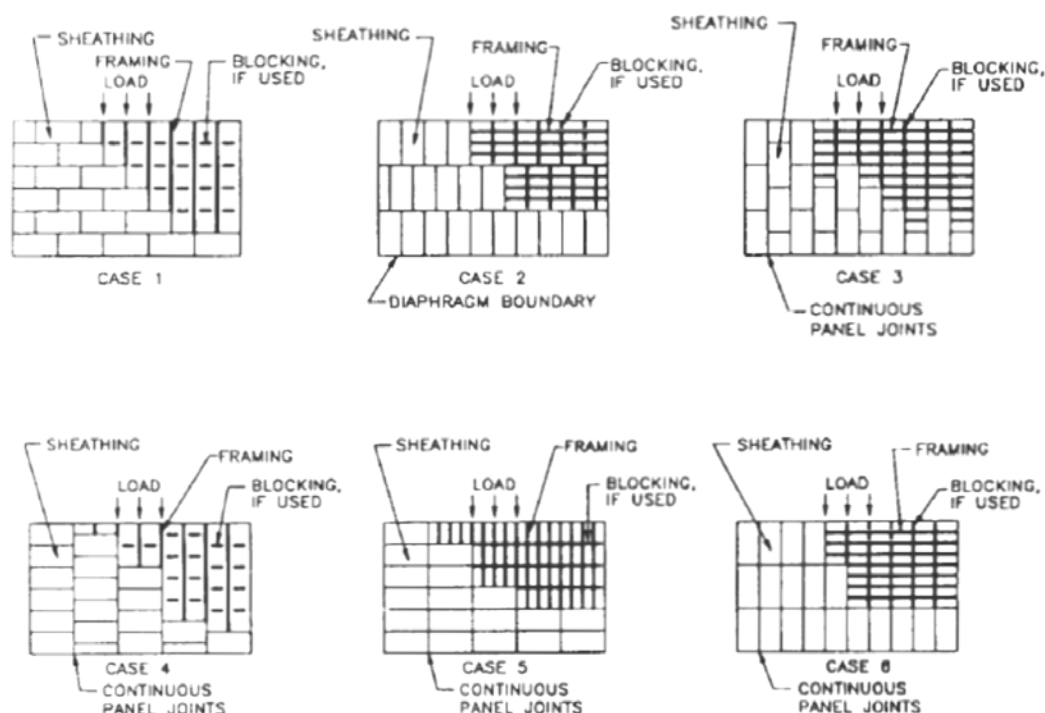
Elaborazione dell'autore da: "Staalframebouw Handboek", Bouwen Met Staal 2007 (www.bouwenmetstaal.nl).

I pannelli di rivestimento per solaio vengono posati in opera con l'asse longitudinale ortogonale ai travetti, mentre i rivestimenti di parete vanno montati con l'asse maggiore parallelo alla direzione dell'ordito principale, a meno che i telai non siano stati realizzati con strutture di irrigidimento intermedie (*blockings*). In tal caso è possibile installare i pannelli in entrambe le direzioni, senza influenzare sensibilmente la resistenza della struttura¹⁰⁰.

⁹⁹ A sottolineare la provenienza di tali sistemi, la quasi totalità dei prodotti presenti sul mercato viene prodotta in multipli e sottomultipli del pollice (2,54mm).

¹⁰⁰ Indagini sperimentali hanno dimostrato che le pareti con pannelli di rivestimento orientato parallelamente ai montanti forniscono la stessa resistenza di quelle con pannelli orientati perpendicolarmente agli stessi se irrigiditi. L'assenza di *blockings* comporta invece, nelle pareti con rivestimento perpendicolare ai montanti, una riduzione della resistenza di oltre il 50%.

I metodi maggiormente impiegati per connettere gli elementi di rivestimento al *frame* in CFS sono l'avvitatura e la connessione tramite *pin*.



Tra i rivestimenti strutturali maggiormente utilizzati si possono elencare i pannelli in compensato, i pannelli truciolari, i pannelli in gesso rivestito e quelli in cemento fibro-rinforzato¹⁰¹.

3.4. VALUTAZIONE DELLE OPZIONI TECNOLOGICHE: CFS VS CA

3.4.1. Criteri di base per la scelta dei parametri di confronto

Per comprendere effettivamente i livelli di eco-efficienza espressi da “nuove tecnologie¹⁰²” e tecniche costruttive, le opportunità legate ad una progressiva diffusione sul mercato, nonché gli effettivi vantaggi per progettisti, imprese e utenti finali in un determinato segmento di mercato in una data area geografica, appare opportuno attuarne un confronto con tecniche e procedimenti

¹⁰¹ Le più recenti tecnologie di cement boards sono costituite da lastre composte da un nucleo di cemento portland con aggiunta di inerti leggeri. Tali prodotti di ultima generazione sono completamente idrorepellenti, leggeri, di facile lavorazione e posseggono buone caratteristiche di isolamento e ottima resistenza al fuoco; le lastre possono infatti essere immerse in acqua senza subire alcuna degradazione delle caratteristiche meccaniche e non richiedono la sigillatura dei giunti.

¹⁰² Per “nuove” in questa sede si sottintende rispetto al mercato di riferimento

convenzionali in modo da prendere in considerazione le principali problematiche di progetto connesse.

I sistemi in *cold formed* rappresentano in molti contesti una tecnologia generalmente ancora poco diffusa, in altri completamente assente, limitatamente al settore residenziale, come già sottolineato¹⁰³. La conoscenza approfondita delle caratteristiche dei materiali e delle prestazioni espresse in condizioni d'uso, risulta dunque strumento di progetto essenziale, oltre che per la corretta impostazione del target tecnologico-prestazionale (sempre necessaria per ottimizzarne l'impiego in funzione dell'applicazione), ma, e soprattutto, per individuare le ricadute ambientali dell'opera durante il ciclo di vita. Assumere consapevolezza di tali problematiche aiuta infatti a ridurre i fattori di rischio per l'uomo e l'ambiente determinati da un eventuale diffusione su larga scala.

3.4.2. Indicatori di eco-efficienza e metodologia LCA: il contributo dei sistemi in Cold Formed Steel

Diversi sono i parametri utilizzabili per la valutazione dei livelli di eco-efficienza di una tecnologia, sia a livello delle caratteristiche intrinseche dei prodotti (prestazioni, impieghi, rendimenti nel tempo, ciclo di vita, ecc.), sia dai processi produttivi ad essi associati. È inoltre possibile valutare l'eco-efficienza di un determinato prodotto o processo considerando il contributo che questi apporta alla riduzione dell'impatto ambientale dell'intero "sistema edificio", attraverso il monitoraggio e la misurazione delle emissioni climalteranti e dei consumi energetici dell'organismo edilizio durante le diverse fasi del suo ciclo di vita.

Numerose sono le "azioni di controllo" che permettono di valutare i livelli di eco-efficienza nei prodotti industriali. Lo studio delle caratteristiche dei materiali e del loro processo produttivo risulta senza dubbio uno dei principali fattori che possono determinare un primo livello di conoscenza, in base al quale ad esempio individuare una potenziale tossicità per gli individui o un rischio per l'ambiente. Tuttavia, nel caso dei prodotti e sistemi costruttivi per l'edilizia, non è possibile prescindere da una valutazione delle prestazioni in condizioni d'uso,

¹⁰³ Cfr. Capitolo II, par. 2.3

a partire dalla valutazione del ciclo di vita degli edifici e dei prodotti con cui sono realizzati, che consente di determinare gli impatti ambientali prodotti e gli eventuali fattori di risparmio dal punto di vista economico nel lungo periodo.

Una metodologia *Life Cycle Based* permette di valutare correttamente i livelli prestazionali espressi in relazione al consumo di risorse materiali ed energetiche, e di confrontare le tecnologie innovative con quelle convenzionalmente impiegate, secondo un approccio teso a valutare i costi e i benefici dal punto di vista ambientale ed economico, in modo da orientare l'innovazione verso l'impiego di prodotti e sistemi affidabili che contribuiscano a ridurre effettivamente gli impatti globali.

Il metodo di valutazione LCA (Life Cycle Assessment) mette a disposizione alcuni utili parametri di confronto, in relazione alle interazioni con l'ambiente, fra i due sistemi tecnologici in esame¹⁰⁴:

- Consumo di risorse materiali [t, m³]
- Consumo di energia primaria non rinnovabile (EE) – [GJeq]
- Emissione di gas serra [kgCO₂eq]

Gli ambiti in cui valutare tali parametri risultano essere i seguenti:

- Pre-produzione e produzione
- Trasporto
- Messa in opera
- Esercizio e gestione
- Dismissione e riciclaggio
- Impatti evitati

Nella presente trattazione verrà omessa la fase relativa agli impatti generati in fase di esercizio e gestione in quanto strettamente legate al contesto di riferimento e per la quale non si dispone delle informazioni necessarie ad una corretta valutazione¹⁰⁵.

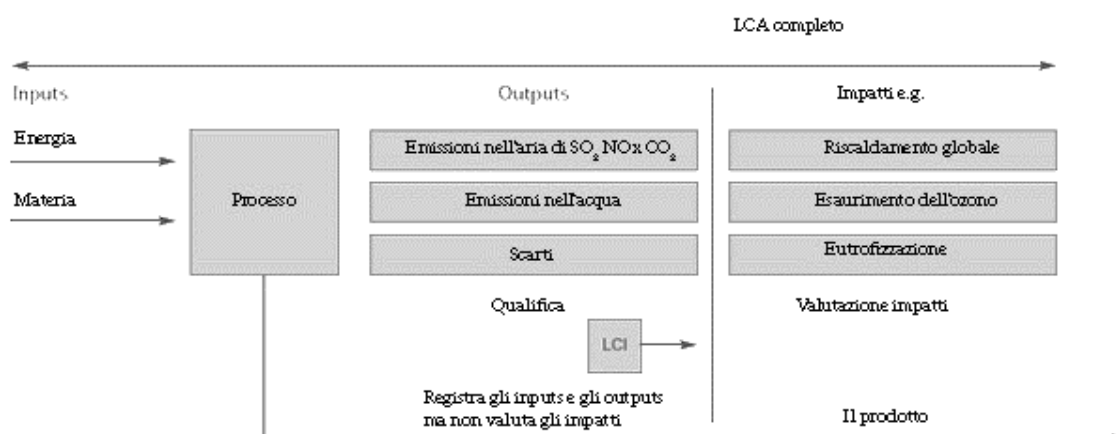
¹⁰⁴ Si riporta fra parentesi quadra il nome tecnico dell'indicatore LCA.

¹⁰⁵ I dati di inventario di provenienza globale non risulterebbero infatti coerenti nemmeno in via approssimativa con le reali condizioni di esercizio, data la peculiarità del territorio e del mercato di riferimento, a differenza di quelli generati nelle altre fasi legati prevalentemente ad attività di tipo industriale-meccanizzato. Per questi ultimi, pur non disponendo di banche dati locali, si è potuto ipotizzare con buona approssimazione la presenza condizioni a contorno assimilabili a quelle presenti su scala globale.

Uno dei vantaggi del CFS è che le problematiche legate all'eco-efficienza, ma anche alla competitività economica, rispetto alle tecnologie tradizionali, sono da qualche anno oggetto di studio da parte degli stessi produttori, intenzionati ad etichettare e certificare i propri prodotti e/o sistemi prefabbricati rispetto agli standard nazionali che fissano il consumo di risorse materiali, energia e i livelli di emissioni, per meglio entrare nei mercati attenti a tali tematiche o nei quali il rispetto di determinati parametri ambientali è diventato di tipo cogente.

Per avere una visione globale dell'impatto ambientale dei prodotti in *cold formed* è utile effettuare uno studio di LCA (Life Cycle Assessment), ciò prevede come primo passo di stilare un inventario (*Life Cycle Inventory - LCI*) per fornire informazioni dettagliate sui bilanci energetici relativi al sistema individuato. Vengono raccolti nell'inventario i dati relativi alle quantità di inputs di materia ed energia ed i relativi outputs di emissioni nell'ambiente. I confini generali del sistema si estendono dalle risorse primarie alla effettiva messa in opera del prodotto e dismissione (*from cradle to grave -dalla culla alla tomba*). Data la complessità delle operazioni necessarie alla compilazione dell'inventario relativo al settore edilizio, in alcuni casi, la raccolta dei dati non include i processi della post-produzione, come le fase di uso, dismissione e recupero dei rottami, dunque inizia e si conclude alla fase di produzione del bene (*from cradle to gate - dalla culla al cancello*).

Fase di inventario "LCI" in un processo di LCA.



Fonte: Elaborazione dell'autore da norma ISO 14040

La qualità della LCA dipende dalla qualità dei dati raccolti, i dati empirici misurati *on site* forniscono risultati di alta qualità, quando questo non è possibile possono essere assunti dati derivanti da database internazionali.

Nel 1996 l'*International Iron and Steel Institute (IISI)* ha lanciato per primo uno studio di inventario LCI per i prodotti in acciaio quantificando l'uso di risorse, di energia e gli impatti ambientali dall'estrazione delle materie prime al completamento del processo produttivo.

I dati di inventario sono stati calcolati sia per prodotti derivati da procedimento in altoforno, o BOF (*Basic Oxygen Furnace*), che per quelli provenienti da impianti con EAF, nello specifico da 50 impianti di produzione appartenenti a 28 tra le maggiori industrie siderurgiche a livello mondiale¹⁰⁶.

L'integrità e la validità dello studio sono state garantite dal rispetto delle linee guida contenute nella norma ISO 14040:2006¹⁰⁷ e ISO 14044:2006¹⁰⁸ e dall'approvazione da parte di un istituto di critica indipendente¹⁰⁹.

La maggior parte degli elementi strutturali utilizzati per la prefabbricazione in CFS sono presenti nelle banche dati LCI per i prodotti da costruzione in acciaio, e molti sistemi pre-configurati progettati per Paesi dove è in essere la certificazione di tipo LEED o BREEM, come il Regno Unito, sono corredati di default, ad opera dei produttori stessi, di tutti i dati necessari al conseguimento di punteggi sulla riciclabilità, sul contenuto di riciclato e altre caratteristiche di tipo green.

E' pratica comune esprimere gli impatti relativi all'energia e alle emissioni di gas serra adottando come unità di misura le tonnellate (t), il che spesso produce la falsa impressione che gli impatti imputabili all'acciaio siano superiori a quelli derivanti da altri materiali da costruzione. Si trascura infatti che, dato l'elevato

¹⁰⁶ L'*International Iron and Steel Institute (IISI)* è una delle maggiori associazioni industriali su scala mondiale. Rappresenta approssimativamente 180 produttori (incluse 19 tra le 20 più grandi acciaierie), associazioni nazionali e regionali del settore siderurgico e numerosi istituti di ricerca sull'acciaio. I suoi membri vantano il 75% della produzione mondiale di acciaio (esclusa la Cina).

¹⁰⁷ ISO 14040: 2006 - *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*

¹⁰⁸ ISO 14044: 2006 - *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*

¹⁰⁹ Lo studio LCI condotto dall'IISI attualmente rappresenta il database più ampio e rigoroso mai condotto per nessun altro materiale da costruzione. I suoi risultati, oltre ad essere stati utilizzati in molti studi di LCA, forniscono alle industrie del settore l'opportunità di comparare le proprie performance e di valutare le misure da intraprendere per il miglioramento dei processi produttivi interni.

rapporto resistenza/peso, l'acciaio sia spesso presente in quantità minori rispetto alle alternative, a parità di prestazioni meccaniche.

Il metodo che prende in esame l'intero ciclo di vita, denominato "system expansion method", attribuisce dei crediti a quei processi che recuperano energia ed emissioni da sottoprodotti, come ad esempio i gas generati dai processi produttivi che vengono utilizzati per la produzione di energia elettrica, o le emissioni di CO₂ evitate grazie al reimpiego o riciclo di un prodotto. Anche in tale ambito i profili in CFS guadagnano grandi distanze dalla maggior parte dei materiali da costruzioni, sia che provengano da impianto basato su tecnologia EAF che BOF¹¹⁰, dato l'elevato contenuto di riciclato contenuto e l'elevato tasso di riciclabilità ottenibile¹¹¹.

3.5. ANALISI LCA

3.5.1. Definizione dei confini del sistema

Lo studio LCA proposto è relativo ad una soluzione tecnica specifica all'interno del subsistema tecnologico "strutture di elevazione" e "strutture di fondazione". I dati quantitativi di base, uniti alle prestazioni in condizioni d'uso espresse dai singoli prodotti e alle indicazioni di progetto relative ai tre diversi sistemi, sono elaborati con l'obiettivo di ottenere parametri confrontabili rispetto ad alcuni indicatori selezionati:

- Consumo di risorse materiali - t, m³
- Consumo di energia primaria non rinnovabile (EE) – Gjeq
- Emissioni di gas serra (GWP) - kgCO₂eq

Lo studio si riferisce ai carichi ambientali nel ciclo di vita del prototipo rispettivamente per la soluzione costruttiva in CFS e per quella in c.a. gettato in opera, in relazione al subsistema tecnologico delle strutture di elevazione verticali e orizzontali, piuttosto che l'edificio nel suo complesso (si escludono quindi non solo gli elementi tecnici che compongono l'involucro edilizio e gli impianti, ma anche le strutture secondarie dei solai e dei balconi). Tale selezione è stata effettuata per consentire di esaminare in modo immediato i parametri

¹¹⁰ Nel Regno Unito rispettivamente 88% e 99% per le sezioni. Fonte: World Steel Association.

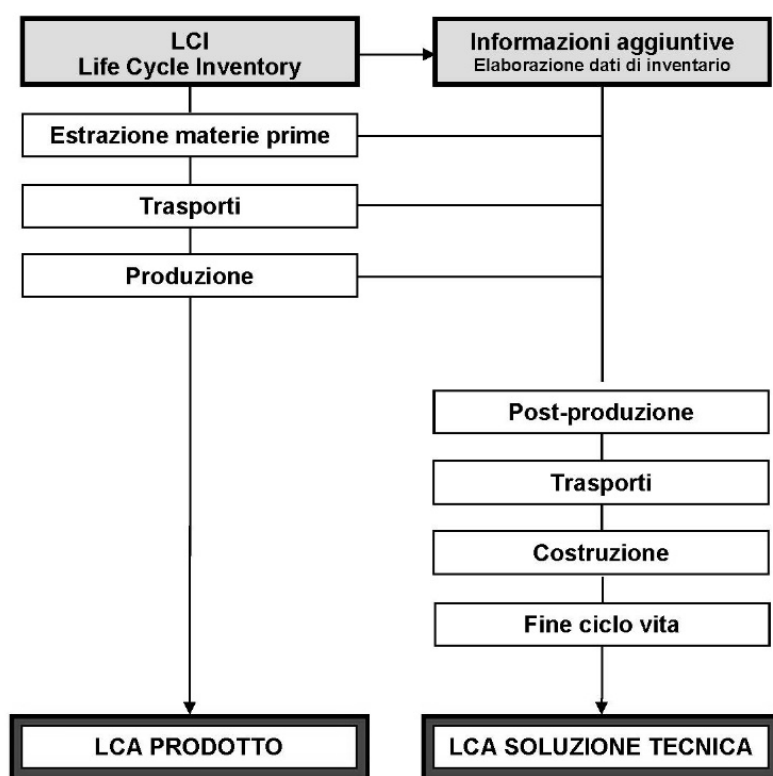
¹¹¹ Per maggiori informazioni sul processo produttivo cfr. Cap. II par. 2.4.

chiave che permettono il confronto tra gli impatti prodotti dalle diverse alternative tecnologiche ipotizzate.

È da tener presente che nelle diverse fasi del ciclo di vita è significativa l'incidenza delle specifiche condizioni geografiche (distanze dal cantiere dei siti di produzione e di smaltimento e riciclaggio) e produttive (grado di diffusione del materiale, mix energetici locali, filiere di riciclaggio esistenti).

Per una maggiore significatività degli impatti relativi alle fasi di trasporto, costruzione e dismissione, si è ipotizzato di realizzare l'edificio tipo a Dakar, con la presenza dei relativi impianti per entrambe le tecnologie alla stessa distanza dal sito di costruzione¹¹².

Diagramma di flusso per lo studio LCA proposto



Il diagramma di flusso riportato evidenzia le diverse fasi del ciclo di vita considerate e le modalità di reperimento dei dati.

In accordo con l'approccio europeo alla qualificazione prestazionale di prodotti da costruzione e quello specifico al tema delle prestazioni ambientali, contenuti

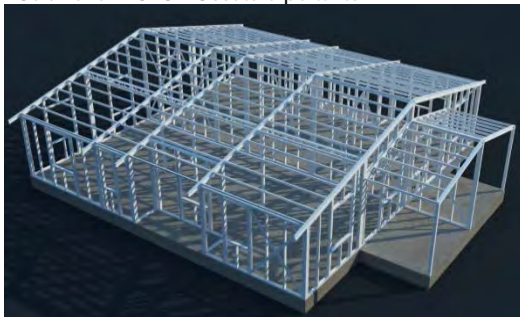
¹¹² Tale assunzione si può ritenere metodologicamente corretta dal momento che la raccolta dei dati viene effettuata su di un prototipo "virtuale", realizzato per valutare in via generale gli impatti potenziali di una tecnologia attualmente non sviluppata nel contesto geografico di riferimento.

nel Regolamento Prodotti da Costruzione (CPR 305/2011¹¹³), viene considerata quale unità funzionale di riferimento, il singolo elemento costruttivo (trave/pilastro).¹¹⁴

3.5.2. Dati di origine per il confronto

I dati estratti dal modello di studio utili ai fini della valutazione dell'eco-efficienza, riguardano le quantità di calcestruzzo e di acciaio necessarie alla realizzazione della struttura portante: a) dell'edificio realizzato con il sistema costruttivo in CFS, b) dell'edificio realizzato con sistema costruttivo a telaio in cemento armato gettato in opera¹¹⁵. Nel caso del calcestruzzo, trattandosi di un materiale composto, occorre definire qualità e grado dei suoi componenti, per individuare correttamente gli impatti derivanti dal mix di progetto. Sulla base di questi valori, è possibile risalire, considerando la composizione media per la tipologia di conglomerato e l'incidenza delle armature, alle singole quantità delle materie prime impiegate.

"Soluzione in CFS". Ossatura portante



"Soluzione in c.a.". Ossatura portante



Tabella di riepilogo quantità

¹¹³ Construction Products Regulation, che dal 1 luglio 2013 abroga l'ex direttiva 89/106/CE. Tra le novità del nuovo Regolamento, l'introduzione di un nuovo requisito di base delle opere di costruzione (Allegato I), ovvero il numero sette "Uso sostenibile delle risorse naturali", per il quale "le opere di costruzione devono essere concepite, realizzate e demolite in modo che l'uso delle risorse naturali sia sostenibile" e garantisca in particolare il riutilizzo e la riciclabilità dei materiali, la durabilità delle opere e l'uso di materie prime e secondarie "ecologicamente compatibili".

¹¹⁴ In assenza di specifiche normative locali, l'approccio utilizzato è stato quello di assumere quali linee guida per la redazione dello studio quelle vigenti in Europa, laddove ritenute non determinanti rispetto ai risultati del confronto.

¹¹⁵ Per il dimensionamento degli elementi strutturali utilizzati ai fini del confronto si faccia riferimento agli schemi ed alle tabelle di calcolo in Appendice.

Quantità materiale	Soluzione c.a. in opera (struttura di elevazione)		Soluzione c.a. in opera (fondazione)		Soluzione CFS (struttura di elevazione)		Soluzione CFS (fondazione)	
	mc	kg	mc	kg	mc	kg	mc	kg
Calcestruzzo ordinario	49,97	114922	80,51	185161,5	0	0	36	82800
Acciaio armature	0,81	6299,02	0,83	6440,4	0	0	0,23	1800
CFS	0	0	0	0	0,55	4297,27	0	0

I dati di origine per l'analisi LCA relativa all'acciaio impiegato per la realizzazione delle strutture di elevazione nella soluzione in CFS provengono dalla banca dati "LCI data for Steel products" redatta dalla Worldsteel Association.

L'inventario è riferito ai prodotti semilavorati da costruzione provenienti da rotoli di lamiera in acciaio zincato a caldo (*HDG*) di spessore compreso tra gli 0,3mm ed i 3mm, e contiene i dati raccolti nel periodo 2005-2008.¹¹⁶

I dati di origine riguardanti il calcestruzzo utilizzato per le fondazioni di entrambe i prototipi e per le strutture di elevazione della soluzione in c.a., provengono dagli esiti delle ricerche condotte dalla Portland Cement Association pubblicate in "Environmental Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete" del 2002¹¹⁷.

Dati di partenza per il confronto

Materiale	Densità (kg/mc)	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)
Calcestruzzo ordinario	2300	1,8	206,7
Acciaio armature	7800	62,4	3128
CFS	7800	137	10584

Come si può notare gli impatti per unità di prodotto del CFS sono maggiori rispetto a quelli provocati dagli acciai per armatura (a causa del rivestimento di zinco applicato). Rispetto al calcestruzzo, tale differenza diventa ancora più evidente, a riprova del fatto che le caratteristiche di eco-efficienza di tali prodotti possano dipendere unicamente dalla massimizzazione delle prestazioni ottenibile grazie all'elevato rapporto resistenza/peso dell'acciaio (in primis) e delle sezioni strutturali adottate.

¹¹⁶ La versione utilizzata è quella rilasciata nel febbraio 2010, ed è l'ultimo aggiornamento disponibile per la categoria di prodotti in esame. In Appendice si riporta la tabella completa

¹¹⁷ Riferiti ad un mix di classe 35 Mpa composto da 300Kg/m³ di cemento, 580Kg/m³ di sabbia, 1240Kg/m³ di sabbia e 180Kg/m³ di acqua.

3.5.3. Analisi degli impatti durante il ciclo di vita

Lo studio LCA effettuato ha preso in esame le seguenti fasi del ciclo di vita dei due prototipi:

- Pre-produzione e produzione
- Trasporto
- Messa in opera
- Dismissione e riciclaggio
- Impatti evitati

In ciascuna di tali fasi la valutazione è stata effettuata considerando le interazioni di entrambi i sistemi con l'ambiente analizzando i seguenti indicatori:

- Consumo di risorse materiali [t, m³]
- Consumo di energia primaria non rinnovabile (EE) – [GJ_{eq}]
- Emissione di gas serra [kgCO_{2eq}]

FASE 1: Pre-produzione e produzione.

Analisi degli impatti ambientali prodotti dall'industria del cemento e dell'acciaio

I carichi ambientali relativi alle fasi di pre-produzione e produzione rappresentano generalmente la quota più rilevante di impatti all'interno del ciclo di vita dei prodotti edilizi.

La presenza di dati di inventario (LCI), ha consentito di evitare una fase di reperimento dati particolarmente complessa che si sarebbe potuta dimostrare peggiorativa per l'attendibilità dei risultati ottenuti, in quanto nel contesto africano non è stato possibile reperire né banche dati né dichiarazioni ambientali¹¹⁸ di prodotto secondo la normativa internazionale. Si è preferito infatti utilizzare banche dati provenienti da fonti affidabili seppure provenienti al di fuori del contesto geografico di riferimento.

Tabella di riepilogo degli impatti in fase di produzione

¹¹⁸ Le dichiarazioni ambientali di prodotto o EPD (Environmental Products Declarations) sono documenti contenenti la quantificazione delle prestazioni ambientali di un prodotto mediante opportune categorie di parametri calcolati con la metodologia dell'analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) e quindi seguendo gli standard della serie ISO 14040.

	calcestruzzo ordinario (kg)	acciaio armature (kg)	CFS (kg)	Pso totale (kg)	Volume totale (mc)	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	110071,1	6045,94	0	116117,04	48,63	134,51	12316,62
Soluzione in c.a. (fondazione)	119326,3	4150,48	0	123476,78	52,41	126,59	12388,25
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0	0	4297,27	4297,27	0,55	74,80	5778,86
Soluzione in CFS (fondazione)	82800	1800	0,00	84600	36,23	79,20	8163,05

A questi impatti vanno aggiunti quelli relativi alla fase di post-produzione che porta alla realizzazione del prodotto che successivamente verrà trasportato in cantiere.

Nel caso del CFS, gli impatti per la realizzazione in stabilimento dei singoli elementi strutturali attraverso pressopiega e profilatura, sono già stati considerati in fase di inventario, mentre nel caso del c.a. in opera vanno aggiunti gli impatti prodotti nella centrale di betonaggio per la realizzazione del calcestruzzo ready-mix.

Tabella impatti aggiuntivi centrale di betonaggio

Impatti di betonaggio			
	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)	Fonte: Medgar L. Marceau, Michael A. Nisbet, Martha G. VanGeem, Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete, Portland Cement Association, 2007, p. 31, dati elaborati in Simapro.
1mc	0,033	0,61	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione-cla)	1,58	29,19	
Soluzione in c.a. (fondazione-cla)	1,71	31,65	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00	
Soluzione in CFS (fondazione-cla)	1,19	21,96	

FASE 2: Trasporto.

Analisi degli impatti ambientali prodotti dalle fasi di trasporto in cantiere

In fase di trasporto degli elementi in CFS in cantiere sono stati considerati gli impatti prodotti da un autoarticolato di capacità massima 40 t (83 mc), con pianale di carico delle dimensioni standard di 12x2,5x2,75 m, in grado quindi di trasportare anche gli elementi di maggiori dimensioni (in questo caso le unità volumetriche).

Nel caso delle opere in c.a. in opera è stata considerato l'uso di un'autobetoniera con capacità di 4,5 m³, dunque gli impatti sono stati calcolati in base al numero di viaggi occorrenti.

Le distanze dal cantiere sono state considerate ipotizzando che l'impianto di produzione degli impasti in c.a e quello degli elementi in CFS e delle barre d'armatura, siano dislocati alla stessa distanza dal sito di costruzione pari a 25Km.

Tabella di riepilogo degli impatti totali in fase di trasporto

Impatti totali in fase di trasporto		
	EE (GJeq)	GWP (tCO ₂ eq)
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	10,35	0,72
Soluzione in c.a. (fondazione)	11,17	0,78
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,14	0,01
Soluzione in CFS (fondazione)	7,71	0,54

Distanze dal cantiere	
	km
Soluzione in c.a.	25
Soluzione in CFS	25

FASE 3: Costruzione

Analisi degli impatti ambientali prodotti in fase di messa in opera

In fase di messa in opera e assemblaggio in cantiere, come prevedibile, gli impatti prodotti dalla soluzione con c.a. in opera risultano essere notevolmente più elevati rispetto a quelli prodotti dalla soluzione in CFS.

Questo valore è giustificato dal fatto che gli elementi in CFS, data la loro leggerezza possono essere movimentati a mano e prevedono, una volta trasportati in cantiere, operazioni di assemblaggio a bassa intensità energetica¹¹⁹ (per tale motivo trascurate ai fini del calcolo).

L'unico impatto significativo da tenere in conto è quello prodotto dai mezzi di sollevamento meccanici utilizzati durante il posizionamento e l'assemblaggio degli elementi modulari spaziali (moduli bagno).

¹¹⁹Quali la bullonatura e la connessione mediante avvitatura/rivettatura

Per la soluzione con c.a. in opera sono stati considerati gli impatti prodotti dalla betoniera e dalla pompa elettrica in relazione alle ore effettive di getto, escludendo dal calcolo gli impatti aggiuntivi relativi alla vibrazione del cls, all'approvvigionamento di acqua e alle operazioni di armo e disarmo delle casseforme, perché ritenuti di modesta entità.

Tabella di riepilogo degli impatti in fase di costruzione.

Impatti totali in fase di costruzione		
	EE (GJeq)	GWP (tCO₂eq)
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	1,40	0,10
Soluzione in c.a. (fondazione)	1,52	0,10
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00
Soluzione in CFS (fondazione)	1,05	0,07

FASE 4: Dismissione e riciclaggio

Analisi degli impatti ambientali prodotti in fase di demolizione della struttura e nella filiera del riciclaggio

In fase di dismissione e riciclaggio si è ritenuto opportuno valutare sia gli impatti prodotti dalla demolizione della struttura sia gli impatti e i benefici ambientali derivanti dal riciclaggio, ipotizzando uno scenario di fine vita che massimizzi l'efficienza della filiera del riciclaggio. Il cemento armato rientra nella categoria di dismissione "rifiuti da demolizione", idealmente riciclabili al 100%, recuperati in seguito alla demolizione controllata dell'edificio e riprocessati per ottenere aggregati da riciclo. Per quanto riguarda i ferri di armatura il 70% viene recuperato in fase di demolizione, il 30% in seguito al riciclaggio degli cls in un frantoio dotato di deferrizzatore (il che implica la necessità di prevedere una fase successiva di trasporto verso l'impianto di riciclaggio dell'acciaio).

Le distanze dal cantiere e tra i diversi stabilimenti coinvolti nella filiera del riciclaggio è ipotizzata per semplicità sempre pari a 25 km.

Tabella di riepilogo degli impatti in fase di dismissione e riciclaggio.

Impatti totali in fase di dismissione		
	EE (GJeq)	GWP (tCO2eq)
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	2,15	0,45
Soluzione in c.a. (fondazione)	2,24	0,48
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,32	0,02
Soluzione in CFS (fondazione)	1,40	0,33

FASE 5: Impatti evitati

Analisi degli impatti ambientali evitati

Per la fase di dismissione viene adottato il metodo LCA noto come “*avoided products*”, in base al quale ai processi di riciclaggio viene scalata l’evitata produzione dei corrispondenti prodotti vergini e dei conseguenti carichi ambientali, in modo da poter valutare i benefici netti derivanti dalla differenza tra impatti evitati e impatti causati¹²⁰.

Tabella di riepilogo degli impatti evitati.

	EE (GJeq)	GWP (tCO2eq)
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	-40,07	-2,72
Soluzione in c.a. (fondazione)	-42,90	-2,92
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	-2,01	-0,13
Soluzione in CFS (fondazione)	-29,42	-2,00

¹²⁰ Si noti che tale impostazione tende a favorire in questo caso le tecnologie convenzionali. Ipotizzando infatti uno scenario “100% riciclaggio” è possibile ammortizzare nel fine vita gli elevati carichi ambientali legati alla fase di produzione, che generalmente sono di molti ordini di grandezza superiori a quelli della fase di dismissione e riciclaggio. In questo modo vengono per così dire “premiati” maggiormente quei processi che impiegano elevate quantità di materia in fase di produzione, poiché viene loro sottratta una quota rilevante di impatti nel fine vita.

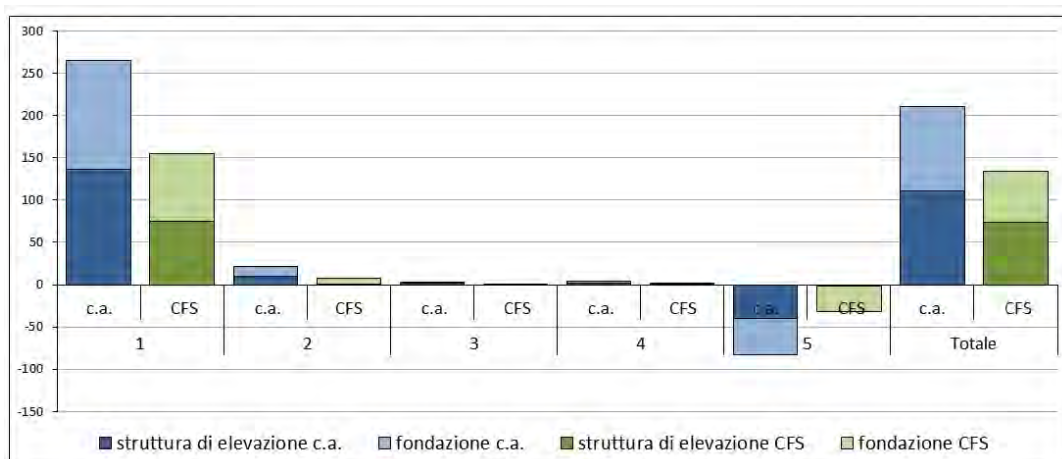
3.5.4. Risultati del confronto

I dati raccolti in tabella mostrano i risultati delle analisi condotte, suddivisi per indicatore di riferimento e per fase LCA per le due tecnologie in esame.

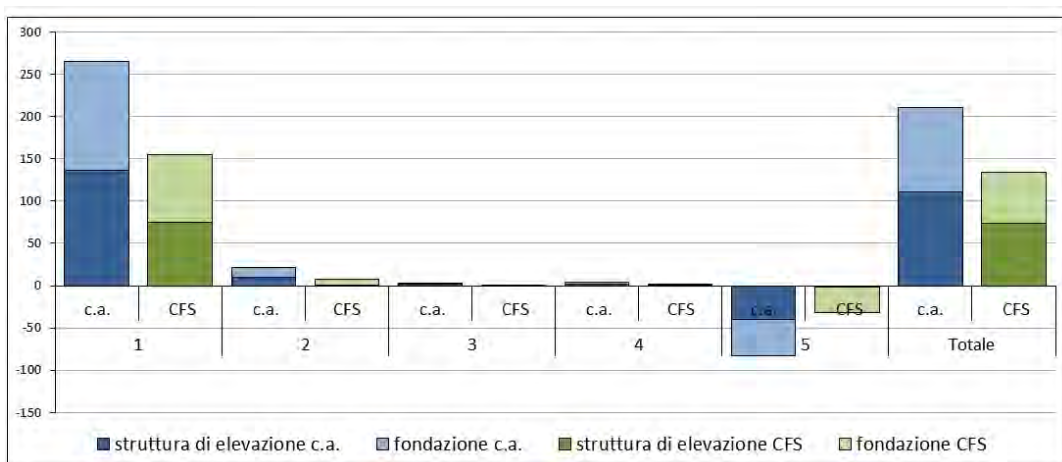
Tabella di riepilogo dei risultati del confronto.

Indicatori	Soluzioni	Fasi LCA					
		1	2	3	4	5	Totale
Volume (mc)	Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	48,63					48,63
	Soluzione in c.a. (fondazione)	52,41					52,41
	Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,55					0,55
	Soluzione in CFS (fondazione)	36,23					36,23
Peso (t)	Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	116,12					116,12
	Soluzione in c.a. (fondazione)	123,48					123,48
	Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	4,30					4,30
	Soluzione in CFS (fondazione)	84,60					84,60
EE (GJeq)	Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	136,9	10,35	1,4	2,15	-40,07	110,73
	Soluzione in c.a. (fondazione)	128,3	11,17	1,52	2,24	-42,9	100,33
	Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	74,8	0,14	0	0,32	-2,01	73,25
	Soluzione in CFS (fondazione)	80,39	7,71	1,05	1,4	-29,42	61,13
GWP (tCO2eq)	Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	12,35	0,72	0,1	0,45	-2,72	10,9
	Soluzione in c.a. (fondazione)	12,42	0,78	0,1	0,48	-2,92	10,86
	Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	5,58	0,01	0	0,02	-0,13	5,48
	Soluzione in CFS (fondazione)	8,18	0,54	0,07	0,33	-2	7,12

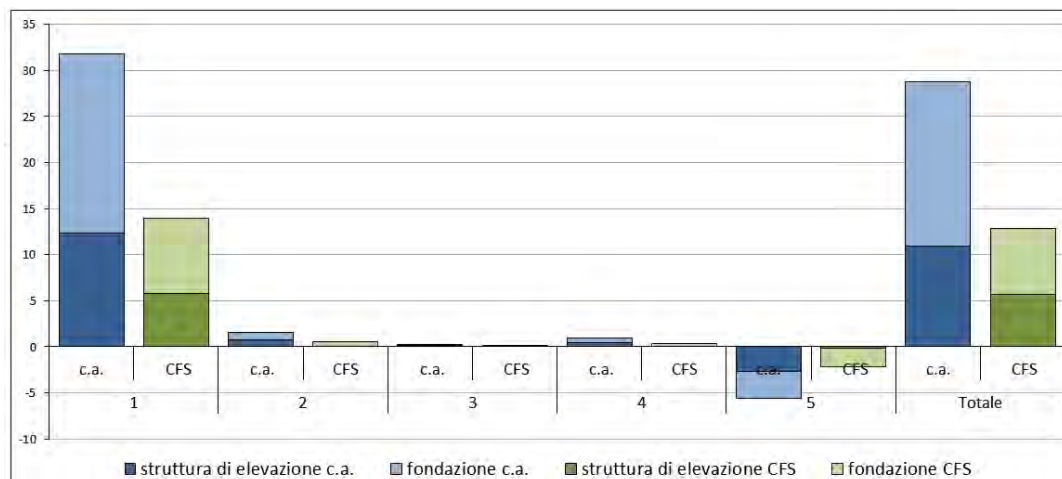
Confronto degli impatti totali prodotti dalle due soluzioni nel ciclo di vita



Confronto dell'energia richiesta (EE, GJeq) nel ciclo di vita



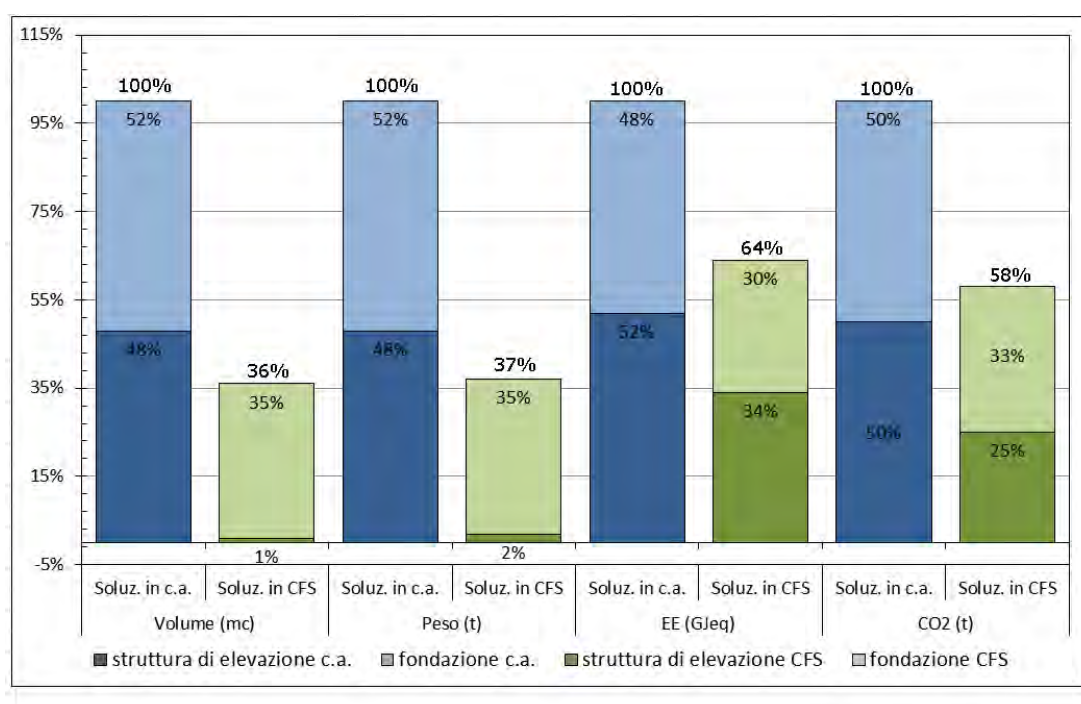
Confronto delle emissioni di gas serra (GWP, tCO2eq) nel ciclo di vita



3.5.5. Analisi dei risultati

Dal confronto effettuato si evince chiaramente come, secondo i parametri considerati nel modello LCA, la soluzione realizzata in CFS offre notevoli risparmi nel ciclo di vita sia dal punto di vista dell'impiego di risorse materiali ed energetiche che rispetto alle emissioni di agenti inquinanti.

In particolare, dal punto di vista dell'intensità materiale, le soluzioni convenzionali richiedono quantitativi decisamente superiori (3 volte se si prende in considerazione anche la struttura di fondazione e 100 volte se si paragonano solamente le strutture di elevazione).



I consumi di energia per il c.a. sono del 36% più alti se si prende in esame l'intero sistema e il 18% se si paragonano solo le strutture di elevazione, mentre le emissioni di gas serra sono superiori rispettivamente di circa il 50% e dell'40% (sistema completo, solo strutture di elevazione) rispetto alla soluzione in CFS.

La fase di produzione è quella in assoluto più impattante in tutte le soluzioni considerate, cui segue la fase di trasporto dei materiali in cantiere, mentre sono in proporzione trascurabili gli impatti prodotti in fase di messa in opera.

Come si nota, gran parte degli impatti generati dalla soluzione in CFS derivano dalla forte incidenza della struttura di fondazione in c.a., sia in termini di peso che di emissioni. Questo perché si è usato come modello di studio un edificio

monopiano, dove l'incidenza percentuale delle strutture di fondazioni non è sicuramente proporzionale al numero di impalcati.

Si può dunque affermare in prima analisi che per edifici multipiano il sistema in CFS possa sicuramente offrire delle performance ancora più elevate rispetto agli indicatori presi in esame.

Osservando le quantità specifiche di materia impiegata per la realizzazione delle strutture di elevazione, risulta evidente come una progettazione tesa ad ottimizzare la morfologia degli elementi in funzione delle sollecitazioni, come quella dei profili leggeri in acciaio formato a freddo, consenta di ridurre le quantità necessarie di materia e, di conseguenza, gli impatti ad essa connessi a tutte le fasi del processo edilizio secondo un approccio eco-efficiente alla gestione delle risorse.

3.6. MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA IN CONDIZIONI D'USO: UNA SOLUZIONE DI INVOLUCRO ECO-EFFICIENTE

I risultati ottenuti dal confronto tra il modello di studio in cemento armato e l'alternativa tecnologica in CFS, hanno messo in luce le performance di eco-efficienza legate principalmente alle innovazioni green messe in atto nel campo dei processi produttivi ed ai risultati raggiunti in ambito ingegneristico in merito all'ottimizzazione delle proprietà meccaniche e delle tecniche costruttive.

Caratteristica che rende tali sistemi molto competitivi, invece, sul piano propriamente tecnologico, rispetto ai competitors presenti sul mercato, è rappresentata dall'elevato livello di integrabilità (funzionale), di cui si è fatto breve cenno nel capitolo II del presente studio.

Le caratteristiche di modularità degli elementi di base, ed il supporto offerto da un apparato produttivo molto flessibile, sono fattori che agevolano in ogni condizione la completa integrabilità dell'organismo edilizio alle più svariate soluzioni di involucro, a seconda delle esigenze.

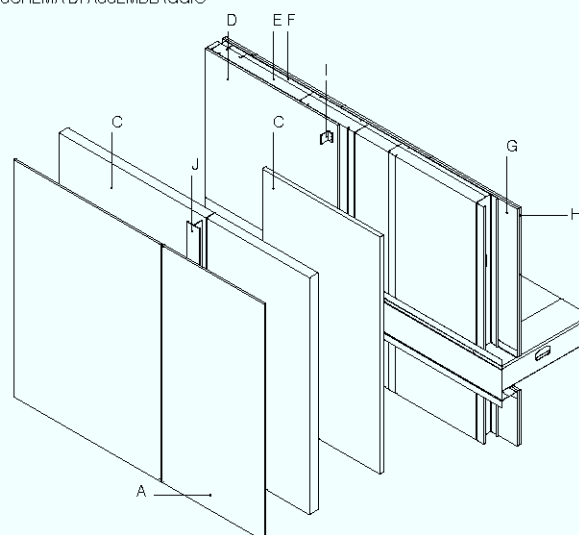
Le varianti possibili sono pressoché illimitate, in quanto sia le strutture che gli elementi di completamento e di rinforzo strutturale maggiormente utilizzati ben si prestano ad essere integrati/inglobati nei pacchetti di chiusura di ogni genere e dimensione. A titolo esemplificativo si riporta un esempio di soluzione di involucro appositamente progettata per valutare il sistema-edificio nel suo

complesso, il suo contributo al miglioramento del comportamento energetico delle abitazioni, e gli impatti prodotti sull'ambiente durante la fase di esercizio precedentemente esclusa dall'analisi LCA.

Soluzione d'involucro con facciata ventilata

Soluzione di involucro costituita da facciata ventilata in fibrocemento ed isolamento delle pareti perimetrali in intercapedine. La facciata ventilata è collegata alla struttura portante mediante sistema di montanti in alluminio agganciati alla struttura portante con staffe a fissaggio puntuale. Questo sistema consente di utilizzare pannellature di ampie dimensioni (i pannelli in commercio arrivano a dimensioni di 1,2m x 2,5/3m) favorendo una veloce posa in opera.

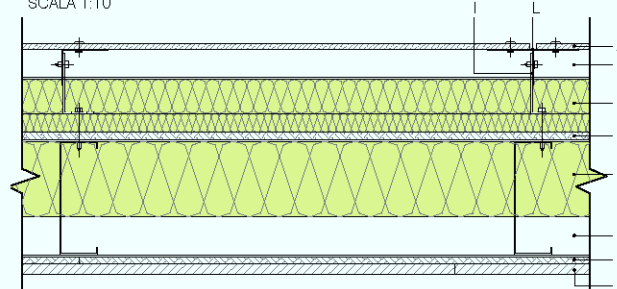
SCHEMA DI ASSEMBLAGGIO



LEGENDA

- A. Lastra in fibrocemento
- B. Intercapedine ventilata
- C. Doppio strato di pannelli isolanti in fibra di legno mineralizzata
- D. Pannello OSB
- E. Pannello isolante in lana di legno
- F. Intercapedine
- G. Pannello OSB
- H. Lastra in gesso rivestito
- I. Staffa di fissaggio in alluminio
- J. Montante in alluminio

COMPOSIZIONE DEL PACCHETTO DI CHIUSURA VERTICALE
SCALA 1:10



CARATTERISTICHE TERMO-FISICHE DEL PACCHETTO DI CHIUSURA VERTICALE

STRATO		MATERIALE	SPESSORE [mm]	MASSA [kg/mq]	U [W/mqK]	Yie [W/mqK]
A	Finitura esterna	Fibrocemento	9,0	15,0	0,24	0,06
B	Intercapedine ventilata		35,0			
C	Isolamento a cappotto	Fibra di legno mineralizzata	25,0+50,0	20,0		
D	Pannello di rinforzo strutturale	OSB	9,0	10,0		
E	Strato isolante	Lana di legno	50,0	50,0		
F	Intercapedine					
G	Pannello di rinforzo	OSB	9,0	10,0		
H	Placcaggio	Gesso rivestito	15,0	18,0		
PACCHETTO			297,0	123,0*	SFASAMENTO 12h 06'	

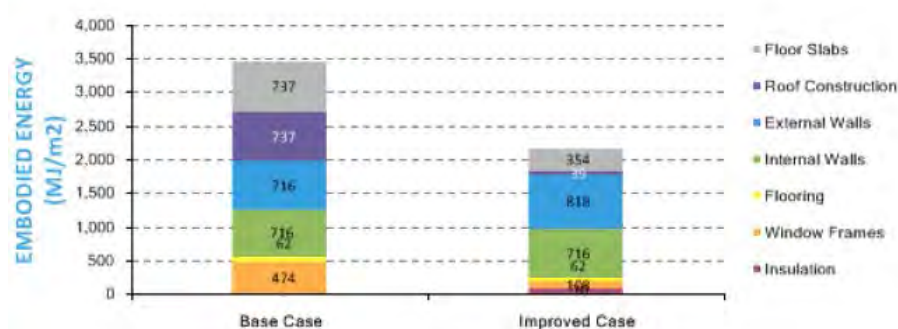
*Il calcolo dei parametri termofisici è stato effettuato via software secondo le norme UNI EN ISO 13786 ed UNI EN ISO 13788

Una volta definite le caratteristiche del pacchetto, lo studio una simulazione di calcolo per valutare il comportamento dell'edificio in fase d'uso, il grado di efficienza perseguibile con le soluzioni tecniche adottate e di valutare eventuali alternative tecnologiche.

Lo strumento utilizzato¹²¹ consente di indirizzare l'utente verso scelte progettuali consapevoli, in quanto restituisce in tempo reale dati relativi ai consumi e alle emissioni dell'organismo edilizio. Tali informazioni possono essere inoltre contestualizzate per verificare se la scelta operata si possa ritenere migliorativa o peggiorativa rispetto allo standard costruttivo del luogo.¹²²

Ai fini della presente ricerca, è questo l'aspetto fondamentale della simulazione effettuata, in quanto restituisce, seppur in maniera semplificata, la risposta al “se e come” i CFS possano contribuire al miglioramento in chiave eco-efficiente dell'housing a Dakar anche durante la fase di uso e di gestione dell'immobile. Si riportano i dati ottenuti:

Riduzione dei livelli di Energia Incorporata: -29,79%

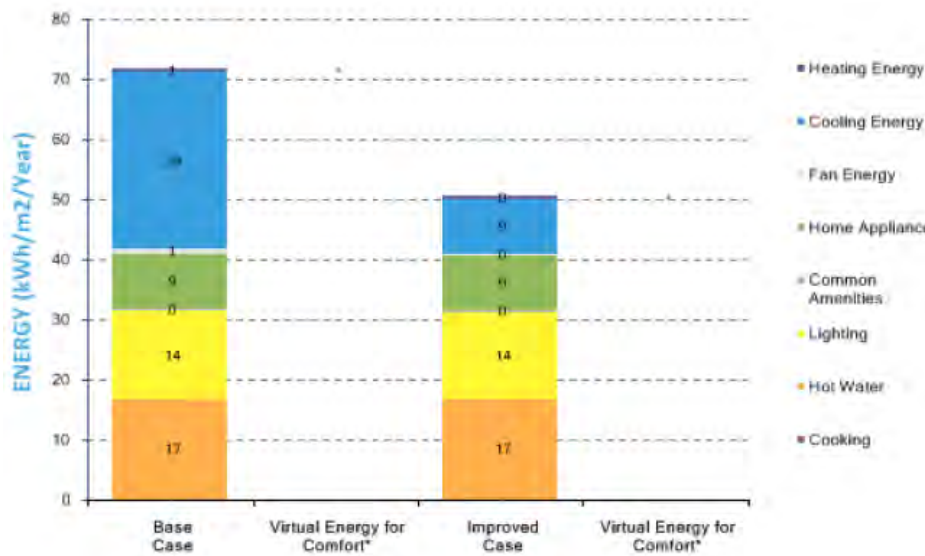


In questo e nel grafico successivo l'istogramma relativo al “Base case” rappresenta il punteggio relativo all'edificio realizzato secondo lo standard costruttivo di Dakar, quello migliorativo è riferito al punteggio dello stesso edificio realizzato con la soluzione d'involucro proposta.

¹²¹ Si tratta della piattaforma software “Edge – Excellence in design for greater efficiencies”, disponibile in modo gratuito previa registrazione sul sito web www.edgebuildings.com

¹²² Ad oggi sono disponibili i dati di raffronto con lo standard costruttivo di oltre 100 Paesi.

Riduzione del fabbisogno energetico: – 37,1%



Results

Final Energy Use :	714.7 kWh/Month/Unit	Operational CO ₂ Savings :	2.2 tCO ₂ /Year	Base Case Utility Costs :	227.2 \$/Month/Unit
Final Water Use :	35.3 kL/Month/Unit	Embodied Energy Savings :	1,276.2 MJ	Utility Costs Reduction :	42.5 \$/Month/Unit

CAPITOLO IV:

CONCLUSIONI

1.6. CONCLUSIONI ED INDIRIZZI PER LA RICERCA

Se dal punto di vista della ricerca, il caso applicativo rappresenta il punto di arrivo di un percorso mirato all'esplorazione dei "fattori di risparmio"¹²³ offerti dai sistemi in CFS per l'housing in scenari caratterizzati da un quadro esigenziale-prestazionale "complesso", dal punto di vista di una possibile introduzione dei suddetti sistemi nel mercato viceversa, lo studio rappresenta il punto di partenza per una ricerca di tipo sperimentale da condurre sul posto allo scopo di fornire dati utili personalizzarne le *features* (sia di prodotto che di processo).

Attraverso delle campagne sperimentali si potrebbe arrivare all'elaborazione di soluzioni tecniche conformi alle specifiche necessarie e alle competenze di manodopera, oltre che a valutare possibili ibridazioni con materiali di completamento di tipo locale per una migliore accettazione della tecnologia e un maggior grado di soddisfacimento dei parametri di sostenibilità.

Dai dati emersi dal confronto incrociati con i dati derivanti dall'analisi del contesto locale emergono spunti quali:

La possibilità di sviluppi per la produzione di materiali isolanti e pannellature di completamento con materie prime locali per una riduzione degli impatti relativi alla costruzione delle stratigrafie di involucro¹²⁴

La possibilità studiare sistemi di giunzione tra gli elementi per la facilitazione del montaggio sul posto con manodopera non qualificata

La necessità di raccogliere dati sperimentali riferiti alla Regione di Dakar per la costruzione di banche dati utili a valutare con minore approssimazione l'eco-efficienza delle soluzioni tecniche disponibili.

¹²³ Cfr. cap. II par 2.2

¹²⁴ Tra le possibilità emerse dalla analisi del contesto regionale si segnala il typha (Cfr. Capitolo I par. 1.5), particolarmente adatto per conferire massa artificiale e coibenza termica nelle soluzioni di involucro. Dato l'alto quantitativo di materiale isolante necessario alla composizione delle stratigrafie per i sistemi S/R come quello in oggetto, tale condizione di producibilità locale contribuirebbe alla riduzione dei costi ambientali durante le fasi di estrazione, trasporto, e smaltimento, oltre che economici, e favorirebbe sia lo sviluppo dell'industria delle costruzioni locale che il contenimento dei consumi energetici secondo le attuali linee guida per lo sviluppo della Regione recentemente emanate.

APPENDICE A :

Predimensionamento strutture

Soluzione in CFS

FONDAZIONE	soletta in cemento armato (spessore 20cm)		
	Volume (mc)	Peso per unità di volume (kg/mc)	Peso (kg)
Calcestruzzo	36	2300	82800
Acciaio armature	0,23	50	1800
Totale	36,23		84600

PARETI	Montanti	Guide	Artravi	Controventatura	Totale
Sezione	Profilo a C 100x49x12,5x1mm	Profilo a U 104x40x1mm	Profilo a doppia C 150x98x12,5x1,5mm	Lamiera zincata 60x1mm	
Materiale	Fe 360 zincato UNI 5753/84	Fe 360 zincato UNI 5753/84	Fe 360 zincato UNI 5753/84		
Lunghezza totale (ml)	671,78	150,26	21,6	59,6	
Volume (mc)	0,15	0,04	0,02	0,00	0,21
Peso per unità di volume (kg/mc)	7800	7800	7800	7800	
Peso (kg)	1152,77	293,01	185,33	27,89	1659,00

MODULI BAGNO	Montanti	Travi	Travetti	Totale
Sezione	Profilo Scatolare 100x100x5mm	Profilo a doppia C 200x96x1,5mm	Profilo a C 198x55x15x1,5mm	
Materiale	Fe 360 zincato UNI 5753/84	Fe 360 zincato UNI 5753/84	Fe 360 zincato UNI 5753/84	
Lunghezza totale (ml)	21,2	16	9,6	
Volume (mc)	0,042	0,019	0,005	0,066
Peso per unità di volume (kg/mc)	7800	7800	7800	
Peso (kg)	330,72	149,76	37,44	517,92

COPERTURA	Travi	Travetti	Totale
Sezione	Profilo a doppia C 200x96x1,5mm	Profilo a C 198x55x15x1,5mm	
Materiale	Fe 360 zincato UNI 5753/84	Fe 360 zincato UNI 5753/84	
Lunghezza totale (ml)	99,45	305	
Volume (mc)	0,12	0,15	0,27
Peso per unità di volume (kg/mc)	7800	7800	
Peso (kg)	930,85	1189,50	2120,35

Soluzione in c.a.

FONDAZIONE			Fondazione continua con sezione a T rovescia
Soluzione cemento armato	Volume (mc)		51,88
	Calcestruzzo	Peso per unità di volume (kg/mc)	2300
		Peso (kg)	119326,3
	Acciaio armatura	Peso per unità di volume (kg/mc)	80
		Peso (kg)	4150,48
		Volume (mc)	0,53
	Peso Totale (kg)		123476,78

APPENDICE B:

Fogli di calcolo impatti produzione

STRUTTURA DI ELEVAZIONE		Pilastri	Travi	Travetti		Totale
Soluzione cemento armato	Numero		22	20	86	
	Volume (mc)		6,33	31,57	9,96	47,86
	Calcestruzzo	Peso per unità di volume (kg/mc)	2300	2300	2300	
		Peso (kg)	14552,1	72601,8	22917,2	110071,1
	Acciaio armatura	Peso per unità di volume di cls (kg/mc)	120	110	110	
		Peso (kg)	759,24	3472,26	1096,04	5327,54
		Volume (mc)	0,10	0,45	0,14	0,68
		Rete elettrosaldata (Ø 6 con maglia 100%)	Area (mq)	Peso per unità di area (kg/mq)	Peso (kg)	Volume (mc)
		160,00	4,49	718,40	0,09	
Peso Totale (kg)						115446,50

SOLUZIONE CFS (struttura di elevazione) - IMPATTI				
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (1mc=137GJeq)	GWP (1mc=10584kgCO2eq)
MODULI BAGNO	0,066	517,92	9,042	698,544
PARETI	0,21	1659,00	28,77	2222,64
COPERTURA	0,27	2120,35	36,99	2857,68
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (1mc=137GJeq)	GWP (1mc=10584kgCO2eq)
Totale impatti Sistema CFS (struttura di elevazione)	0,55	4297,27	74,80	5778,86

SOLUZIONE CFS (fondazione) - IMPATTI				
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (1mc=1,8GJeq)	GWP (1mc=206,7kgCO2eq)
calcestruzzo	36	82800	64,8	7441,2
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (1mc=62,4GJeq)	GWP (1mc=3128kgCO2eq)
acciaio armatura	0,23	1800	14,40	721,85
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)
Totale impatti Sistema CFS (fondazione)	36,23	84600,00	79,20	8163,05

SOLUZIONE CEMENTO ARMATO (fondazione) - IMPATTI				
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (1mc=1,8GJeq)	GWP (1mc=206,7kgCO2eq)
Calcestruzzo	51,88	119326,30	93,39	10723,80
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (1mc=62,4GJeq)	GWP (1mc=3128kgCO2eq)
Acciaio armature	0,53	4150,48	33,20	1664,45
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)
Totale impatti Sistema c.a. (fondazione)	52,41	123476,78	126,59	12388,25

SOLUZIONE CEMENTO ARMATO (struttura di elevazione) - IMPATTI				
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (1mc=1,8GJeq)	GWP (1mc=206,7kgCO2eq)
Calcestruzzo	47,86	110071,10	86,14	9892,04
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (1mc=62,4GJeq)	GWP (1mc=3128kgCO2eq)
Acciaio armature	0,78	6045,94	48,37	2424,58
	Volume (mc)	Peso (kg)	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)
Totale impatti Sistema c.a. (struttura di elevazione)	48,63	116117,04	134,51	12316,62

Impatti di betonaggio			
	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)	Fonte: Medgar L. Marceau, Michael A. Nisbet, Martha G. VanGeem, Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete, Portland Cement Association, 2007, p. 31, dati elaborati in Simapro.
1mc	0,033	0,61	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione-cl)	1,58	29,19	
Soluzione in c.a. (fondazione-cl)	1,71	31,65	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00	
Soluzione in CFS (fondazione-cl)	1,19	21,96	

APPENDICE C :

Fogli di calcolo fase di trasporto

Impatti autoarticolato			
	EE (GJeq)	GWP (tCO2eq)	Fonte: Banca dati Buwal 250 (Truck 40 t B250).
1 tkm	1,3	0,097	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione-armatura)	0,17	0,01	
Soluzione in c.a. (fondazione-armatura)	0,13	0,01	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,14	0,01	
Soluzione in CFS (fondazione-armatura)	0,06	0,00	
Impatti autobetoniera (4,5 t)			
	EE (GJeq)	GWP (tCO2eq)	Fonte: Kenji Kawai et al., Inventory data and case studies for environmental performance evaluation of concrete structure construction, Journal of Advanced Concrete Technology, vol. 3, n. 3, ottobre 2005, p. 441.
1 h	0,554	0,038	
1 viaggio (45 min)	0,416	0,029	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione-clt, 24 viaggi)	10,18	0,71	
Soluzione in c.a. (fondazione-clt, 27viaggi)	11,03	0,77	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00	
Soluzione in CFS (fondazione-clt, 18 viaggi)	7,65	0,53	
Trasporto con autoarticolato (40 t)			
	Distanze dal cantiere (km)	Incidenza del materiale (tkm)	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione-armatura)	25	133,25	
Soluzione in c.a. (fondazione-armatura)	25	103,75	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	25	107,43	
Soluzione in CFS (fondazione-armatura)	25	45,00	

APPENDICE D :

Fogli di calcolo fase di costruzione

Impatti autobetoniera (4,5 t, frequenza di getto netta 25 mc/h)			
	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)	Fonte: Kenji Kawai et al., Inventory data and case studies for environmental performance evaluation of concrete structure construction, Journal of Advanced Concrete Technology, vol. 3, n. 3, ottobre 2005, p. 441.
1 h	554	38,4	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione-cla, durata getto 1,91h)	1060,58	73,51	
Soluzione in c.a. (fondazione -cla, durata getto 2,08h)	1149,66	79,69	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00	
Soluzione in CFS (cla fondazione, durata getto 1,44h)	797,76	55,30	

Impatti pompa collegata ad autobetoniera			
	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)	Fonte: Kenji Kawai et al., Inventory data and case studies for environmental performance evaluation of concrete structure construction, Journal of Advanced Concrete Technology, vol. 3, n. 3, ottobre 2005, p. 441.
1 mc	7,09	0,46	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione-cla)	339,3274	22,0156	
Soluzione in c.a. (fondazione-cla)	367,83	23,86	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00	
Soluzione in CFS (fondazione-cla)	255,24	16,56	

Impatti totali in fase di costruzione		
	EE (GJeq)	GWP (tCO2eq)
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	1,40	0,10
Soluzione in c.a. (fondazione)	1,52	0,10
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00
Soluzione in CFS (fondazione)	1,05	0,07

APPENDICE E :

Fogli di calcolo fase di dismissione

Impatti abbattimento con attrezzatura meccanica*			
	EE (GJeq)	GWP (tCO2eq)	Fonte: Banca dati ETH-ESU 96 (Excavation hydraulic digger).
1 mc	0,44	6,1	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	21,15	293,19	
Soluzione in c.a. (fondazione)	22,90	317,44	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00	
Soluzione in CFS (fondazione)	15,87	220,02	

*abbattimento cls e 30% armature

Impatti carico macerie su autoarticolato* (pala meccanica 6 MJ/t)			
	EE (GJeq)	GWP (tCO2eq)	Fonte: Banca dati ETH-ESU 96 (Diesel in building equipment).
1 t	7,42	0,539	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	828,58	60,19	
Soluzione in c.a. (fondazione)	894,67	64,99	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00	
Soluzione in CFS (fondazione)	618,38	44,92	

*carico cls e 30% armature

Impatti trasporto materiale da demolizione con autoarticolato* (40t, dist. 20 km)			
	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)	Fonte: Banca dati Ecoinvent (Lorry 3,5-16 t, fleet average).
1 tkm	3,77	0,275	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	281,32	20,52	
Soluzione in c.a. (fondazione)	219,04	15,98	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	323,99	23,63	
Soluzione in CFS (fondazione)	6,93	6,93	

* trasporto verso riciclo e scarica di cfs e 70% armature

Impatti carico macerie su tramoggia* (pala meccanica 6 MJ/t)			
	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)	Fonte: Banca dati ETH-ESU 96 (Diesel in building equipment).
1 t	7,42	0,539	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	828,58	60,19	
Soluzione in c.a. (fondazione)	894,67	64,99	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00	
Soluzione in CFS (fondazione)	618,38	44,92	

*carico cls e 30% armature

Impatti trattamento macerie per riciclo aggregati con frantumatore a mascelle e separatore magnetico, alimentazione elettrica (4,84MJ/t)			
	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)	Fonte: Banca dati Buwal 250 (Electricity France B250).
1 t	2,17	0,18	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	189,018284	15,678936	
Soluzione in c.a. (fondazione)	204,89	17,00	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00	
Soluzione in CFS (fondazione)	142,18	11,79	

APPENDICE F :

Foglio di calcolo impatti evitati

Impatti evitati – aggregati			
	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)	Fonte: Banca dati Ecoinvent (Gravel, crushed, at mine).
1 kg	0,44	0,03	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	38326,288	2613,156	
Soluzione in c.a. (fondazione)	41545,50	2832,65	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	0,00	0,00	
Soluzione in CFS (fondazione)	28828,80	1965,60	

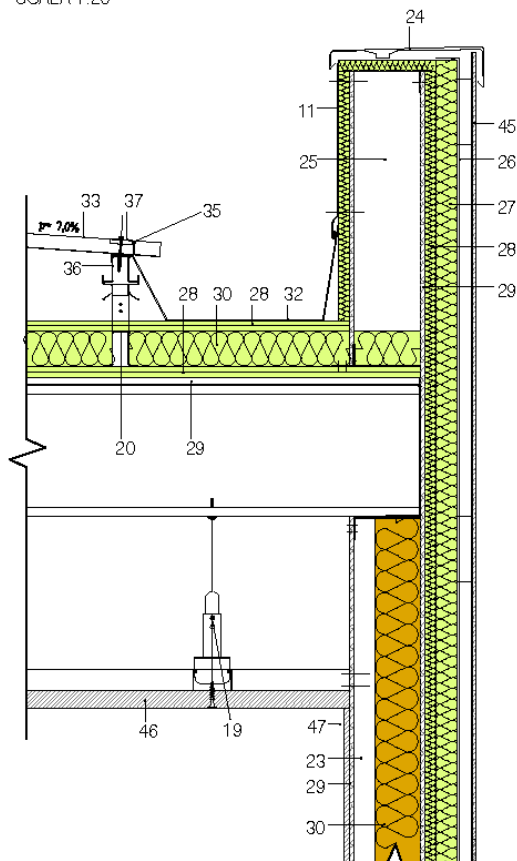
Impatti evitati – rottami di ferro*			
	EE (GJeq)	GWP (kgCO2eq)	Fonte: Banca dati Ecoinvent (Iron scrap, at plant).
1 kg	0,467	0,0293	
Soluzione in c.a. (struttura di elevazione)	1741,57	109,27	
Soluzione in c.a. (fondazione)	1356,79	85,13	
Soluzione in CFS (struttura di elevazione)	2006,83	125,91	
Soluzione in CFS (fondazione)	588,42	36,92	

*cfs e 70% armature

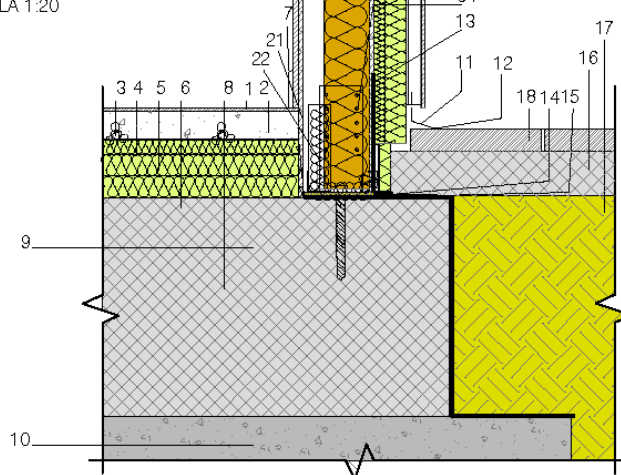
APPENDICE G

Soluzione di involucro. Dettagli costruttivi

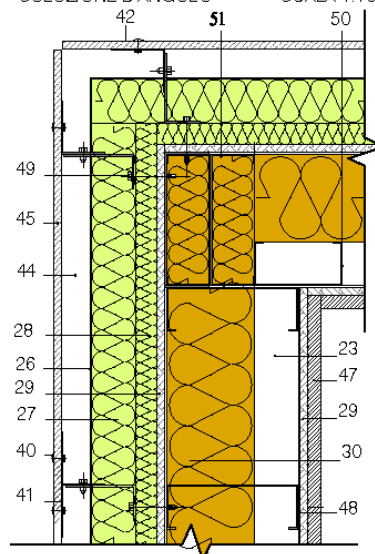
NODO SUPERIORE:
SOLAIO DI COPERTURA - PARAPETTO
SCALA 1:20



NODO INFERIORE:
FONDAZIONE - SOLAIO DI TERRA
SCALA 1:20



SOLUZIONE D'ANGOLO SCALA 1:10



LEGENDA

1. Pavimentazione in linoleum. 2. Massetto di cemento. 3. Tubazione impianto di riscaldamento radiante. 4. Pannello isolante. 5. Doppio pannello in fibra di legno mineralizzata. 6. Massetto con rete elettrosaldata. 7. Battiscopa. 9. Platea di fondazione in c.a. 10. Massetto di livellamento. 11. Lamierino in acciaio zincato. 12. Soglia in pietra. 13. Guaina impermeabilizzante. 14. Tappetino acustico. 15. Malta autolivellante per formazione livello di posa parete. 16. Massetto con rete elettrosaldata. 17. Membrana impermeabilizzante in polipropilene ad alta densità. 18. Pavimentazione in massello di calcestruzzo vibrocompresso. 19. Pendino per controsoffitto ribassato. 20. Profilo ad Omega ripartitore di carico. 21. Giunto elastico. 22. Pannello isolante in lana di canapa. 23. Intercapedine per il passaggio impianti. 24. Soccesalina metallica. 25. Intercapedine. 26. Membrana termoriflettente. 27. Pannello isolante rigido in fibra di legno mineralizzata. 28. Pannello isolante in fibra di legno mineralizzata. 29. Pannello OSB. 30. Pannello in lana di legno. 31. Montante strutturale in CFS. 32. Canale di gronda in acciaio. 33. Pannello di copertura in lamiera zincata. 34. Hold-down. 35. Elemento di chiusura in acciaio microforato. 36. Arcareccio in CFS, sezione ad Omega. 37. Tassello di fissaggio con anima metallica e testa coibentata. 38. Pannello isolante in lana di legno a bassa densità. 39. Struttura portante in CFS. 40. Rivetto in alluminio preverniciato. 41. Montante a T per fissaggio pannelli di facciata. 42. Flangia in alluminio, sezione ad L. 43. Vite auto perforante. 44. Intercapedine areata. 45. Lastra in fibrocemento. 46. Soffitto modulare ispezionabile in gesso rivestito antincendio. 47. Doppio strato di lastre in gesso rivestito. 48. Montante strutturale in CFS, sezione a C irrigidita. 49. Vite autopercorante autofilettante. 50. Montante in CFS non strutturale per il fissaggio del placcaggio interno. 51. Montante doppio costituito da due sezioni a C accoppiate.

APPENDICE H:

Inventario LCI WorldSteel ed. 2010

4 LCI Results: cradle to gate including recycling for 1kg steel

The data considers a burden for scrap input and a credit for the EoL recycling. The end-of-life recycling rate is 85%.

Inputs (mass, kg)

	1kg of global HDG	1kg of global EG
Carbon dioxide	0.01396165	0.01845873
Crude oil (resource)	0.0341629	0.01404121
Dolomite	0.01014526	0.02839336
Hard coal (resource)	0.281023	0.3560745
Iron ore	0.2860485	0.2185158
Lignite (resource)	0.06063246	0.05159448
Limestone (calcium carbonate)	0.07082524	0.09670316
Natural gas (resource)	0.09980223	0.09115116
Tin ore	1.076964E-015	7.693099E-016
Uranium (resource)	5.186449E-006	5.909853E-006
Water	11.70088	14.91676
Zinc ore	0.08299788	0.01125685

Tin ore approx 14% tin content.

Emissions to air (mass, g)

	1kg of global HDG	1kg of global EG
Cadmium (+II)	3.859E-005	5.329E-005
Carbon dioxide	1283	1322
Carbon monoxide	10.57	18.4
Chromium (total)	0.0003137	0.0003721
Dioxins (unspec.)	8.8E-009	1.055E-008
Hydrogen chloride	0.04285	0.04825
Hydrogen sulphide	-7.268E-005	-0.222
Lead (+II)	0.001968	0.002222
Mercury (+II)	9.15E-005	0.0001356
Methane	2.826	3.094
Nitrogen dioxide	0.02103	0.01625
Nitrogen oxides	2.249	2.858
Nitrous oxide (laughing gas)	0.009978	0.007307
NM VOC (unspecified)	0.1858	0.1916
Particles to air	0.401	0.9893
Sulphur dioxide	3.013	3.319

Emissions to fresh water (mass, g)

	1kg of global HDG	1kg of global EG
Ammonia (NH ₄ ⁺ , NH ₃ , as N)	0.004247	0.001328
Biological oxygen demand (BOD)	-0.005964	-0.004403
Cadmium (+II)	4.969E-005	3.207E-005
Chemical oxygen demand (COD)	0.6454	0.5115
Chromium (total)	9.488E-005	0.0001856
Iron	0.1075	0.09848
Lead (+II)	0.000243	0.0002074
Nickel (+II)	3.207E-005	0.0001089
Nitrogenous Matter (unspecified, as N)	-0.05407	0.03556
Phosphate	0.0002418	0.0002732
Phosphorus	0.001039	0.0008379
Solids (dissolved)	-0.0008364	0.01778
Zinc (+II)	0.0006693	0.003989

Environmental Indicators

	1kg of global HDG	1kg of global EG
CML2001 - Nov. 2010, Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	1.343641	1.38505
CML2001 - Nov. 2010, Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	1.357602	1.403509
Primary energy demand from ren. and non ren. resources (net cal. value) [MJ]	17.56677	18.19016

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Alternative eco-tecnologiche per l'Habitat nei Paesi in via di sviluppo*, documento del gruppo di lavoro E. Alberton, CLUT, Torino, 1994
- AEME, *Atelier sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment en zone tropicale*, Dakar, Novembre 2013
- AMADOU D., *Chapter 3: Dakar, in Capital Cities in Africa: Power and powerlessness*, Simon Bekker & Göran Therborn. Dakar, Cape Town, Codesria, HSRC, 2011
- AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, *Fasteners for Residential Steel Framing*, American Iron and Steel Institute, 1993.
- ANSD, *Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat*, RGPH, 2002
- ANSD, *Etude monographique sur les services immobiliers du logement a Dakar (EMSILD)*, Dicembre 2012
- BALBO M., *Povera grande città. L'urbanizzazione nel terzo mondo*, Angeli, Milano 1992
- CAMPIOLI A., *Costruire con l'acciaio e risparmiare energia*, in: *Costruzioni Metalliche*, n. 4, luglio/agosto 2008.
- CANADIAN SHEET STEEL BUILDING INSTITUTE, *The Lightweight Steel Frame House Construction Handbook*, CSSBI 59-05, CSSBI, 2005.
- CATTEDRA E MEMOLÌ (a cura di) , *La città ineguale: pratiche culturali e organizzazione della marginalità in Africa e America Latina*, UNICOPLI, Milano 1995
- CERAGIOLI G., CATTAI G., *Tecnologie per l'uomo*, FOCSIV, Milano, 1982
- CIOVERCHIA M., *Fondare la Leggerezza-Dossier N.63*, *Costruire* 264, Maggio 2005.
- CITIES ALLIANCE PROJECT OUTPUT, *Strategie De Developpement Urbain Du Grand Dakar (Horizon 2025)*, *National Programme for Slum Improvement and Slum Upgrading in Senegal's Cities - "Senegalese Cities Without Slums"* P099673, Novembre 2010
- CORUS, *Life cycle assessment in steel construction*, Corus publication (JD:1000:UK:11/2001)
- COSTA F., *Sistema di valutazione e certificazione ambientale dei prodotti industriali*, in A.A.V.V., "Progetto abitare verde", atti del convegno internazionale "Riciclare: Tecniche, esperienze e prospettive nell'Architettura e nel Design, Edizioni Giannini, Napoli, 2001.
- CRISTOFARO M., Tesi di laurea *"Tecnologie e soluzioni progettuali per edifici a basso impatto e in autocostruzione nelle periferie urbane caratterizzate da rapida crescita e ridotte disponibilità di risorse: il caso di Maputo"*. Università degli studi Mediterranea, Reggio Calabria. Relatore: A. Paoletta, correlatore: C. Nava
- DAVIS M., *Il Pianeta degli Slum*, Feltrinelli Editore, 2006
- DE FILIPPI F.; COMOGLIO MARITANO N.; CERAGIOLI G., *Uscire dal tunnel: tecnologie intermedie o avanzate e l'ibridazione tecnologica per l'habitat nei paesi in via di sviluppo*. In: "Tecnologia, Progetto, Manutenzione. Scritti sulla Produzione Edilizia in ricordo di Giovanni Ferracuti", MISSORI A. Franco Angeli, MILANO, 2004 pp. 271-286. ISBN 9788846451200

- DUBINA D., UNGUREANU V. & MUTIU M., *Sustainable mixed building technologies applied to residential buildings: some Romanian examples*, in A.A.V.V., "Sustainability of Constructions, Integrated Approach to Life-time Structural Engineering", Proceedings of Workshop Lisbon 13.14.15. September 2007
- DURAND-LASSERVE A., NDIAY S., LANDIN S. E BADARA C., *Social and economic impacts of land titling programmes in urban and peri-urban areas: Main findings of the socio-economic survey in five settlements in Dakar and Pikine*. Global Land Tool Network/University of Witwatersrand, 2008.
- EURO BUILD, *Best Practice for Steel Construction in Housing and Residential Buildings in Europe*
- FALETTI M., *La modernizzazione del litorale di Dakar. Inclusione ed esclusione lungo le coste della capitale senegalese*, DiAP, Politecnico di Milano
- GUADAGNI A. (a cura di), *Il prontuario dell'Ingegnere*, Hoepli, Milano, 2010
- GOTTFRIED A. (diretto da), *Quaderni Del MPE, L'edilizia Residenziale*, Hoepli, Milano, 2002.
- IAGU, *Resume Du Rapport Geo Ville Région de Dakar*, 2007
- IMPERADORI M., *La progettazione con tecnologia stratificata a secco*, Il Sole 24 Ore, Milano, 2006.
- LANDOLFO R., DI LORENZO G., FIORINO L., *Attualità e prospettive dei sistemi costruttivi cold formed*, Costruzioni Metalliche, n. 1, gennaio/febbraio 2002.
- Lat Soucabé Mbow, "Les politiques urbaines : gestion et aménagement", in: Momar-Coumba Diop (éd.), Sénégal. Trajectoires d'un État, Codesria, Dakar, 1992
- LANDOLFO R., RUSSO ERMOLLI S., FIORINO L., IUORIO O., D'ACUNZI A., *Acciaio e sostenibilità. Progetto, Ricerca e Sperimentazione per l'housing in cold-formed steel*, collana "Procedimenti e strumentazioni tecniche e sostenibili/11" diretta da Salvatore Dierna, ALINEA Editrice, Firenze 2012
- LOSASSO M., *Edilizia e Ambiente, le possibili convergenze*, Dossier N.67 di Costruire 263, Aprile 2005.
- LOSASSO M. (a cura di), *Progetto e innovazione, nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, Clean, Napoli, 2005.
- MANUFACTURED HOUSING RESEARCH ALLIANCE, *Design for a cold formed steel framed manufactured home: technical support document*, Bath, 2002.
- NAHB RESEARCH CENTER, Inc., *Builders' Steel Stud Guide*, North American Steel Framing Alliance Publication Rg-9607, 1996.
- PACHECO-TORGAL F., CABEZA L.F., LABRINCHA J., GIUNTINI DE MACALHAES A., *Eco-efficient Construction and Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, Woodhead Publishing, 2014
- REPUBLIQUE DU SENEGAL , ASSOCIATION DES MAIRES DU SENEGAL-AMS, *Profil Du Secteur Urbain Regional (RUSPS) Contribution aux politiques de reduction de la pauvreté urbaine en Afrique et dans les Pays Arabes*, 2005
- REPUBLIQUE DU SENEGAL, MINISTERE DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION COMITE NATIONAL HABITAT II, *PNUEH* (Programme des Na-

- tions Unies Pour les Etablissements Humains), *Etude sur la securite de l'occupation fonciere et immobiliere et la bonne gouvernance, Rapport final*, Avril 2004
- ROCCA A., *Architettura low-cost/low-tech. Invenzioni e strategie di un'avanguardia a bassa risoluzione*, Sasso Editore Srl (VI), 2010
 - ROGAN A. L., LAWSON R. M., *Value and benefit assessment of light steel framing in housing*, The Steel Construction Institute Publication, P260, Ascot, 1998.
 - RONZONI M., *Alcune esperienze in altre nazioni* in: "Padre Marcolini, dalla casa per la famiglia alla costruzione della città" (a cura di Roberto Busi), Gangemi Editore, 2000.
 - RUSSO ERMOLLI S., *Cold-Formed e Strutture-Dossier N.79*, Costruire 234, Novembre 2002.
 - RUSSO ERMOLLI S., *Prefabbricazione Rivisitata*, Modulo 289, Marzo 2003.
 - RUSSO ERMOLLI S., *Moduli Per Costruire-Dossier N.86*, Costruire 241, Giugno 2003.
 - RUSSO ERMOLLI S., *L'Innovazione nei Sistemi in CFS-Dossier N.132*, Costruire 291, Settembre 2007.
 - RUSSO ERMOLLI S., *Sistemi Prefabbricati In CFS: Sperimentazione, Innovazione, Ecocompatibilità*, Dipartimento di Progettazione Urbana e di Urbanistica Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, 2008.
 - RUSSO ERMOLLI S., *I sistemi in CFS per la riqualificazione dell'edilizia*, in: Aa. Vv., "Abitare il futuro dopo Copenhagen". International Conference Proceedings Naples 13-14 December 2010, CD CLEAN, Napoli, 2010.
 - SALM, STEVEN J., TOYIN FALOLA, *African Urban Spaces in Historical Perspective*, Rochester, N.Y: University of Rochester Press, 2010.
 - SASSO U. (a cura di), *Il Nuovo Manuale Europeo di Bioarchitettura*, Gruppo Mancosu Editore, Roma, 2007.
 - SINOPOLI N., TATANO V. (a cura di), *Sulle Tracce dell'Innovazione, serie di architettura*, Franco Angeli, Milano, 2002.
 - STEEL FRAMING ALLIANCE, *Steel and Environment*, SFA 2008
 - THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE, *Energy Efficient Housing Using Light Steel Framing*, SCI Publication P307, 2006.
 - THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE, *Steel Construction In Housing*, SCI Publication P280, 2006.
 - THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE, *Modular Construction Using Light Steel Framing: An Architect's Guide*, SCI Publication P272, 2006.
 - THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE, *Durability Of Light Steel Framing In Residential Buildings*, SCI Publication P262, 2006.
 - TUCCI F., *Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, collana Progetto/Tecnologia/Ambiente, Procedimenti e strumentazioni tecniche/4, Alinea Editrice, Firenze 2006
 - UCAD (Université Cheikh Anta DIOP de Dakar), *Plan Strategique 2011-2016*.
 - UNDP, *Technology Transfer: Typha-based Thermal Insulation Material*.
 - UN-HABITAT, *Sénégal. Profil Urbain de Dakar, Programme des Nations Unies pour les Établissements Humains*, 2008

- UN-HABITAT, *Profil du secteur du logement au Sénégal*, 2012
- WIDMAN J., *Sustainability of Modulus Construction – Environmental Study of the OpenHouse Steel System*, SBI Report 229:2, The Swedish Institute of Steel Construction, Sweden, Agosto 2004.
- ZAMBELLI E., VANONCINI P.A., IMPERADORI M., *Costruzione stratificata a secco*, Maggioli, Rimini, 1998
- ZANELLI A. ET AL., *Assemblage, la libertà costruttiva. Il progetto d'abitazione mediante elementi industriali e kit personalizzabili*, Il Sole 24 Ore, Milano, 2010.

SITOGRAFIA

<http://www.lafarge.co.za>
<http://www.worldsteel.org/>
<http://www.steelmax.it/>
<http://www.ghgprotocol.org/>
<http://www.constructalia.com/>
<http://www.bouwenmetstaal.nl>
<http://www.edgebuildings.com/>
<http://www.promozioneacciaio.it/>
<http://www.athenasmi.org/>
<http://www.ghgprotocol.org/>
<http://www.ansd.sn/>
<http://www.africa.undp.org/>

INDICE DEGLI ACRONIMI

ANSD	<i>Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie</i>
UCAD	<i>Université Cheikh Anta Diop de Dakar</i>
CSE	<i>Centre de Suivi Ecologique</i>
AEME	<i>Agence pour l'Economie et la Maitrise de l'Energie</i>
ECREEE	<i>ECOWAS Regional Center for Renewable Energies and Energy Efficiency</i>
UNDP	<i>United Nations Development Programme</i>
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
LCA	<i>Life Cycle Analysis</i>
LCI	<i>Life Cycle Inventory</i>